

# Rautatieliikenteen täsmällisyys- tutkimuksen kirjallisuuskatsaus



Riikka Salkonen - Jouni Paavilainen - Tommi Mäkelä



RATAHALLINTOKESKUS  
BANFÖRVALTNINGSCENTRALEN



Ratahallintokeskuksen  
julkaisu A 17/2009

## Rautatieliikenteen täsmällisyystutkimuksen kirjallisuuskatsaus

Riikka Salkonen  
Jouni Paavilainen  
Tommi Mäkelä

Helsinki 2009

**Ratahallintokeskus**

Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 17/2009

ISSN 1455-2604

ISBN 978-952-445-313-4

Verkkajulkaisu pdf ([www.rhk.fi](http://www.rhk.fi))

ISSN 1797-6995

ISBN 978-952-445-314-1

Kannen ulkoasu: Proinno Design Oy, Sodankylä

Kansikuva: Tommi Mäkelä

Paino: Kopijyvä Oy, Kuopio

Helsinki 2009

**Salkonen, Riikka – Paavilainen, Jouni – Mäkelä, Tommi. Rautatieliikenteen täsmällisyystutkimuksen kirjallisuuskatsaus.** Ratahallintokeskus, Liikennejärjestelmäosasto. Helsinki 2009. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 17/2009. 272 sivua ja 1 liite. ISBN 978-952-445-313-4, ISBN 978-952-445-314-1 (pdf), ISSN 1455-2604, ISSN 1797-6995 (pdf)

**Asiasanat:** rautatieliikenne, täsmällisyys, kirjallisuuskatsaus, bibliometriikka

## TIIVISTELMÄ

Täsmällisyydellä on merkittävä vaikutus rautatieliikennejärjestelmän suorituskykyyn ja sen tarjoaman palvelun laatuun. Erityisesti epätäsmällisyydellä on yhteiskuntataloudellisia vaikutuksia. Siitä aiheutuu kustannuksia niin asiakkaille, rautatieoperaattoreille kuin radanpitäjillekin. Rautatieliikennejärjestelmän luonteen vuoksi viiveet ketjuuntuvat helposti, jolloin epätäsmällisyyden vaikutukset kumuloituvat nopeasti.

Suomessa täsmällisyyden kehitystyön lähtökohtana ovat yleensä olleet yksittäiset, konkreettiset haasteet, joihin on vastattu käytännönläheisillä selvityksillä. Tieteellisen ja teoreettisen näkemyksen syventämiselle on kuitenkin selvä tarve. Vahva teoreettinen osaaminen tarjoaa myös luotettavan viitekehyksen käytännön kehitystyölle.

Tutkimuksen tavoitteena on ollut kartoittaa ja analysoida rautatieliikenteen täsmällisyyteen liittyvän tutkimuksen tila kansainvälisesti. Tutkimus tarjoaa kattavan kuvan täsmällisyydestä tutkimuksen nykytilasta ja trendeistä, mikä auttaa asemoimaan jatkotutkimuksen siten, että voidaan luoda aidosti uutta tutkimusta. Työssä esitetään myös teemoja ja näkökulmia, joihin tulevaa tutkimusta olisi mahdollista suunnata. Tutkimus on luonteeltaan eksploratiivinen esiselvitys, joka on toteutettu kirjallisuuskatsauksena ja bibliometrisenä analyysinä.

Kirjallisuuskatsauksen julkaisujen lukumäärä osoittaa, että rautatieliikenteen täsmällisyyttä käsittelevää tai sitä sivuavaa tutkimusta on tehty melko paljon, eikä aihe ole enää tieteellisesti uusi. Täsmällisyyden näkökulmasta rautatieliikennettä on kirjallisuudessa usein tarkasteltu matemaattisista tai mallintamisen lähtökohdista ja rajatun osaongelman kautta. Laaja-alainen rautatie- ja liikennejärjestelmätason täsmällisyydestä tutkimus, kuten matka- ja kuljetusketjujen tarkastelu, on vähäistä. Vasta uusimmissa tutkimuksissa on esitetty tarve määrittää täsmällisyyden vaikutukset myös matkustajille ja muille tahoille, joille rautatieliikenteen täsmällisyydellä ja sen tutkimuksella voi olla merkitystä. Täsmällisyyden johtamista on tutkittu hyvin vähän. Tämä viittaa myös täsmällisyyden vähäiseen hyödyntämiseen johtamisessa.

Kirjallisuuskatsauksessa määritellään, mitä täsmällisyys tarkoittaa ja mitä tietotarpeita siihen liittyy eri näkökulmista. Tämän tiedon avulla voidaan määritellä, miten täsmällisyyteen liittyvää tietotuotantoa tulisi kehittää, jotta se vastaisi erilaisiin tarpeisiin. Siten on myös mahdollista kehittää täsmällisyyttä eri näkökulmista ja asettaa eritasoisia tavoitteita. Täsmällisyyden laaja-alaisuus on hyvin havaittavissa kirjallisuuskatsauksessa. Tätä ymmärrystä voidaan hyödyntää esimerkiksi täsmällisyyden taloudellisten vaikutusten arvioinnissa.



**Salkonen, Riikka – Paavilainen, Jouni – Mäkelä, Tommi. Litteraturöversikt av forskning om järnvägstrafikens punktlighet.** Banförvaltningscentralen, Trafiksystemsavdelningen. Helsingfors 2009. Banförvaltningscentralens publikationer. 272 sidor och 1 bilaga. ISBN 978-952-445-313-4, ISBN 978-952-445-314-1 (pdf), ISSN 1455-2604, ISSN 1797-6995 (pdf)

**Nyckelord:** järnvägstrafik, punktlighet, litteraturöversikt, bibliometri

## **SAMMANDRAG**

Punktligheten är en betydande faktor i samband med järnvägstrafiksystemets prestationsförmåga och servicekvalitet. Dessutom har särskilt opunktligheten socio-ekonomiska konsekvenser: den förorsakar kostnader för såväl kunder, järnvägsoperatörer som banhållare. Till följd av järnvägssystemets karaktär sprids förseningar lätt, varvid konsekvenser av opunktligheten kumuleras snabbt.

I Finland har utgångspunkten för att utveckla punktligheten för det mesta varit enskilda, konkreta behov, som har besvarats med praktiska utredningar. Behovet att fördjupa vetenskapligt och teoretiskt perspektiv är ändå uppenbart. Stark teoretisk kompetens skapar en pålitlig referensram också för den pragmatiska utvecklingen.

Målet i detta arbete har varit att kartlägga och analysera den aktuella situationen i forskningen om järnvägstrafikens punktlighet internationellt. Denna forskning ger en omfattande bild av nuläget och trender i forskning om punktlighet, vilket hjälper att positionera framtida forskning så att det är möjligt att skapa genuint ny forskning. I arbetet presenteras även teman och synvinklar mot vilka framtida forskning kan inriktas. Forskningen är en explorativ förstudie, som är utförd som litteraturöversikt och bibliometrisk analys.

I litteraturöversikten ingår ett ganska stort antal publikationer. Detta indicerar att temat i sig själv inte längre är vetenskapligt nytt. Ur punktlighetens synvinkel har järnvägstrafiken oftast undersökts med matematiska metoder eller modellering och genom begränsade delproblem. Vidsträckt forskning på systemnivå av järnvägssystemet och trafiksystemet har utförts ytterst litet. Först i de nyaste undersökningarna har det uttryckas ett behov att behandla punktligheten ur synvinkel av t ex passagerare och andra intressegrupper samt resekedjor och transportkedjor. Ledning av punktlighet fick bara få träffar i litteraturöversikten. Detta antyder att punktligheten inte avsevärt utnyttjas i organisationsledning.

Begreppet punktlighet definieras i litteraturöversikten. Dessutom beskrivs vilka informationsbehov anknyter till punktligheten ur olika synvinklar. Med denna information är det möjligt att definiera hur informationsproduktionen borde utvecklas så att den motsvarar olika behov. Granskning ur olika synvinklar gör det också möjligt att utveckla punktlighet ur olika synvinklar och att ställa up mål på olika nivåer. Att punktligheten är en vittomfattande begrepp, kan inses lätt i litteraturöversikten. Detta förstånd kan utnyttjas t ex i bedömning av ekonomiska konsekvenser av punktligheten.

**Salkonen, Riikka – Paavilainen, Jouni – Mäkelä, Tommi. Literature review on railway punctuality research.** Finnish Rail Administration, Traffic System Department. Helsinki 2009. Publications of the Finnish Rail Administration. 272 pages and 1 enclosure. ISBN 978-952-445-313-4, ISBN 978-952-445-314-1 (pdf), ISSN 1455-2604, ISSN 1797-6995 (pdf)

**Keywords:** railway traffic, punctuality, literature review, bibliometrics

## SUMMARY

Punctuality has a significant effect on the performance and on the quality of service of the railway traffic system. Furthermore, unpunctuality has economic effects, as it causes costs to the customers and railway operators as well as to the rail infrastructure managers. In railway traffic system, delays propagate easily and in that case the effects of the unpunctuality cumulate fast.

In Finland the starting point for the development work of the punctuality has usually been individual, concrete challenges which have been answered with pragmatic reports. However, there is clearly a need to deepen the scientific and theoretical view. The strong theoretical knowledge also offers a reliable frame of reference to the practical development work.

The objective of this study has been to review and analyse widely at an international level the state of the research related to the railway punctuality. The study offers a comprehensive picture of the present state and trends of the punctuality research which helps to orientate the further study so that a genuinely new research can be created. The study presents possible themes and points of view on which to focus the further study. This literature review is an exploratory study which has been carried out as a literature review and a bibliometric analysis.

The literature shows that fairly many studies concerning the railway punctuality have been conducted and the subject is not scientifically new anymore. From the point of view of the punctuality, railway traffic has often been examined from the mathematical or from the modeling perspective. The wider research of the railway punctuality, such as the examination of trip chains, is minor. In the latest studies it has been shown that there is a need to determine the effects of the punctuality also for the passengers and others to whom the railway punctuality and punctuality research can have significance. The management of railway punctuality has not been paid much of an attention in the literature. This implies also the minor utilization of punctuality in the management.

The literature review defines the term punctuality and the information needs concerning it. With this information, it is possible to define how information production related to punctuality should be developed so that it would respond to different needs. The examination from different points of view also makes it possible to develop punctuality from different points of view and for example helps to set objectives of different levels. The wide-ranging influence of railway punctuality can be well perceived in the literature review. This understanding can be utilized for example in the evaluation of the economic effects of the punctuality.



## ALKUSANAT

Täsmällisyyden merkitys rautatieliikenteessä on kasvanut viime vuosikymmenten aikana. Vaatimukset täsmällisestä liikenteestä ovat kasvaneet niin asiakkaiden kuin rautatiealan muiden toimijoiden keskuudessa. Rautatieliikenteen täsmällisyys on laaja-alainen ja kompleksinen haaste, jonka taustoja ja tutkimusta on kuvattu tämän kirjallisuuskatsauksen avulla. Tuntemalla tutkimuksen nykytila ja trendit voidaan rautatieliikenteen täsmällisyyttä kehittää edelleen ja asemoida tuleva tutkimus olemassa olevaan tietämykseen.

Tutkimus on tehty Tampereen teknillisen yliopiston tiedonhallinnan ja logistiikan laitoksella. Raportin ovat kirjoittaneet tutkija Riikka Salkonen, tutkija Jouni Paavilainen ja tutkija Tommi Mäkelä. Tutkimukseen on osallistunut myös muuta laitoksen henkilökuntaa. Tutkimusta ovat ohjanneet liikennejohtaja Miika Mäkitalo ja ylitarkastaja Heli Mattila Ratahallintokeskuksesta.

Helsingissä, marraskuussa 2009

Ratahallintokeskus  
Liikennejärjestelmäosasto



## SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
SAMMANDRAG .....	4
SUMMARY .....	5
ALKUSANAT .....	6
SISÄLLYS .....	7
KUVALUETTELO .....	9
TAULUKKOLUETTELO.....	12
1 TUTKIMUKSEN LÄHTÖKOHDAT .....	13
1.1 Taustaa .....	13
1.2 Tavoitteet .....	13
1.3 Tutkimusote ja tutkimuksen rakenne .....	14
2 TUTKIMUKSEN MENETELMÄT JA TOTEUTUS .....	16
2.1 Tutkimusmenetelmät.....	16
2.2 Tutkimuksen toteutus.....	18
3 KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY .....	24
3.1 Täsmällisyys (punctuality, on-time performance) .....	24
3.2 Viive (delay) .....	26
3.3 Myöhästyminen.....	26
3.4 Primääri viive (primary delay, exogenous delay, original delay, initial delay) .....	27
3.5 Sekundääri viive (secondary delay, consecutive delay, knock-on delay, reactionary delay).....	28
3.6 Luotettavuus (reliability).....	29
3.7 Häiriösietoisuus (robustness) .....	30
3.8 Muut käsitteet.....	31
4 TÄSMÄLLISYYSTUTKIMUKSEN NYKYTILA: TUTKIMUSTEEMAT, TEKIJÄT JA JULKAISUKANAVAT .....	33
4.1 Kirjallisuuskatsauksen aineisto .....	33
4.2 Teemat ja osuvuus.....	34
4.3 Maat, organisaatiot ja tekijät.....	38
4.4 Eniten julkaisseita täsmällisyystutkimuksen organisaatioita ja tutkijoita.....	42
4.5 Sarjajulkaisut.....	54
4.6 Konferenssit .....	61
5 TÄSMÄLLISYYSTUTKIMUS LIIKENNEJÄRJESTELMÄN ERI OSIEN NÄKÖKULMASTA .....	66
5.1 Liikennejärjestelmä-teemaryhmän tutkimus.....	66
5.2 Infrastruktuuri .....	66
5.3 Rautatieoperaattori .....	71
5.4 Asiakas .....	73

5.5	Matkustajaliikenne .....	80
5.6	Tavaraliikenne .....	83
5.7	Matka- ja kuljetusketjut .....	88
6	TARKASTELUMENETELMÄT TÄSMÄLLISYYSTUTKIMUKSESSA .....	95
6.1	Tarkastelumenetelmä-teemaryhmän tutkimus .....	95
6.2	Matemaattiset ja tilastolliset menetelmät .....	95
6.3	Mallintaminen .....	107
6.4	Simulointi .....	117
6.5	Operaatioanalyysi .....	123
6.6	Ohjelmiston hyödyntäminen .....	125
6.7	Tapaustutkimus .....	132
7	TÄSMÄLLISYYSTUTKIMUKSEN NÄKÖKULMAT VIIVEISIIN JA MYÖHÄSTYMISIIN .....	138
7.1	Näkökulma viiveisiin ja myöhästymisiin -teemaryhmän tutkimus .....	138
7.2	Viiveiden syyt .....	138
7.3	Viiveiden ketjuuntuminen .....	147
7.4	Myöhästymisten seuraukset .....	158
7.5	Myöhästymisten mittaaminen .....	162
7.6	Ajan arvottaminen .....	171
8	KEHITYSTAVOITTEET, JOITA TÄSMÄLLISYYSTUTKIMUS PALVELEE .....	181
8.1	Kehitystavoite-teemaryhmän tutkimus .....	181
8.2	Johtamisen kehittäminen .....	181
8.3	Palvelun laadun parantaminen .....	188
8.4	Luotettavuuden lisääminen .....	195
8.5	Häiriösietoisuuden parantaminen .....	200
8.6	Järjestelmän optimointi .....	206
9	TÄSMÄLLISYYSTUTKIMUKSEN AVULLA KEHITETTÄVÄT JÄRJESTELMÄT .....	212
9.1	Kehitettävä järjestelmä -teemaryhmän tutkimus .....	212
9.2	Päätöksenteon tukijärjestelmät .....	212
9.3	Aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelu .....	217
9.4	Liikenteenohjaus .....	224
9.5	Reaaliaikaiset järjestelmät .....	231
9.6	Informaatiojärjestelmät .....	238
10	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	242
10.1	Rautatieliikenteen täsmällisyyden tieteellinen tutkimus .....	242
10.2	Työn tieteellinen merkitys .....	244
10.3	Työn käytännöllinen merkitys .....	244
10.4	Työn arviointi .....	245
10.5	Jatkotutkimus .....	247
	LÄHTEET .....	248



## KUVALUETTELO

Kuva 2.1	Tutkimuksen etenemisvaiheet.....	19
Kuva 2.2	Julkaisujen hakuprosessin vaiheet. ....	19
Kuva 4.1	Kirjallisuuskatsaukseen sisältyvien julkaisujen tyypit. ....	33
Kuva 4.2	Kirjallisuuskatsauksen julkaisujen (326 kpl) julkaisuvuodet. ....	34
Kuva 4.3	Kirjallisuuskatsauksen aineisto luokiteltuna teemoittain. ....	36
Kuva 4.4	Samoissa julkaisuissa käsiteltyjen teemojen väliset yhteydet kirjallisuuskatsauksen aineistossa. Teemojen leikkauskohdassa oleva pylväs kuvaa niiden julkaisujen määrää, joissa on käsitelty näitä kahta teemaa. ....	37
Kuva 4.5	Täsmällisyystutkimus erityyppisissä organisaatioissa organisaatioiden lukumäärän mukaan. ....	40
Kuva 4.6	Täsmällisyystutkimus erityyppisissä organisaatioissa julkaisujen määrän mukaan. ....	40
Kuva 4.7	Delftin teknillisen yliopiston täsmällisyystutkimuksen teemat kirjallisuuskatsauksen aineiston mukaan. ....	43
Kuva 4.8	Delftin teknillisen yliopiston täsmällisyystutkimuksen teemojen poikkeama kirjallisuuskatsauksen koko aineiston teemoista. ....	43
Kuva 4.9	Erasmus University Rotterdamin täsmällisyystutkimuksen teemat. ....	47
Kuva 4.10	Malachy Careyn täsmällisyystutkimuksen teemat. ....	50
Kuva 4.11	Malachy Careyn täsmällisyystutkimuksen teemojen poikkeama kirjallisuuskatsauksen koko aineiston teemoista. ....	51
Kuva 4.12	Teemat, joita on käsitelty kirjallisuuskatsaukseen sisältyvissä Transportation Research Part B -julkaisun 23 artikkelissa. ....	58
Kuva 4.13	Transportation Research Part B -julkaisun artikkelien teemojen erot verrattuna kirjallisuuskatsauksen aineiston keskiarvoon. ....	59
Kuva 4.14	Teemat, joita on käsitelty kirjallisuuskatsaukseen sisältyvissä Transportation Research Part A -julkaisun 15 artikkelissa. ....	59
Kuva 4.15	Transportation Research Part A -julkaisun artikkelien teemojen erot verrattuna kirjallisuuskatsauksen aineiston keskiarvoon. ....	60
Kuva 4.16	Teemat, joita on käsitelty kirjallisuuskatsaukseen sisältyvissä Transportation Research Record -julkaisun 12 artikkelissa. ....	60
Kuva 4.17	Teemat, joita on käsitelty kirjallisuuskatsaukseen sisältyvissä European Journal of Operational Research -julkaisun 11 artikkelissa. ....	61
Kuva 4.18	Konferenssijulkaisujen artikkelien teemat. ....	63
Kuva 4.19	Konferenssijulkaisujen artikkelien teemojen poikkeama kirjallisuuskatsauksen koko aineiston teemoista. ....	64



Kuva 5.1	Ydinteeman INFRASTRUKTUURI kanssa samoissa julkaisuissa käsiteltyt muut teemat.....	67
Kuva 5.2	Teeman RAUTATIEOPERAATTORI kanssa samoissa julkaisuissa käsiteltyt muut teemat.....	71
Kuva 5.3	Ydinteeman ASIAKAS kanssa samoissa julkaisuissa käsiteltyt muut teemat.....	74
Kuva 5.4	Teeman MATKUSTAJALIIKENNE kanssa samoissa julkaisuissa käsiteltyt muut teemat.....	81
Kuva 5.5	Ydinteeman TAVARALIIKENNE kanssa samoissa julkaisuissa käsiteltyt muut teemat.....	83
Kuva 5.6	Ydinteeman MATKA- JA KULJETUSKETJUT kanssa samoissa julkaisuissa käsiteltyt muut teemat.....	89
Kuva 6.1	Ydinteeman MATEMAATTISET JA TILASTOLLISET MENETELMÄT kanssa samoissa julkaisuissa käsiteltyt muut teemat.....	96
Kuva 6.2	Ydinteeman MALLINTAMINEN kanssa samoissa julkaisuissa käsiteltyt muut teemat.....	107
Kuva 6.3	Ydinteeman SIMULOINTI kanssa samoissa julkaisuissa käsiteltyt muut teemat.....	118
Kuva 6.4	Teeman OPERAATIOANALYYSI kanssa samoissa julkaisuissa käsiteltyt muut teemat.....	123
Kuva 6.5	Ydinteeman OHJELMISTON HYÖDYNTÄMINEN kanssa samoissa julkaisuissa käsiteltyt muut teemat.....	126
Kuva 6.6	Teeman TAPAUSTUTKIMUS kanssa samoissa julkaisuissa käsiteltyt muut teemat.....	132
Kuva 6.7	Maat, joita on käsitelty teeman TAPAUSTUTKIMUS yhteydessä.....	133
Kuva 7.1	Ydinteeman VIIVEIDEN SYYT kanssa samoissa julkaisuissa käsiteltyt muut teemat.....	139
Kuva 7.2	Ydinteeman VIIVEIDEN KETJUUNTUMINEN kanssa samoissa julkaisuissa käsiteltyt muut teemat.....	148
Kuva 7.3	Teeman MYÖHÄSTYMISTEN SEURAUKSET kanssa samoissa julkaisuissa käsiteltyt muut teemat.....	159
Kuva 7.4	Ydinteeman MYÖHÄSTYMISTEN MITTAAMINEN kanssa samoissa julkaisuissa käsiteltyt muut teemat.....	163
Kuva 7.5	Ydinteeman AJAN ARVOTTAMINEN kanssa samoissa julkaisuissa käsiteltyt muut teemat.....	172
Kuva 8.1	Ydinteeman JOHTAMISEN KEHITTÄMINEN kanssa samoissa julkaisuissa käsiteltyt muut teemat.....	182
Kuva 8.2	Ydinteeman PALVELUN LAADUN PARANTAMINEN kanssa samoissa julkaisuissa käsiteltyt muut teemat.....	188
Kuva 8.3	Ydinteeman LUOTETTAVUUDEN LISÄÄMINEN kanssa samoissa julkaisuissa käsiteltyt muut teemat.....	196

Kuva 8.4	Ydinteeman HÄIRIÖSIETOISUUDEN PARANTAMINEN kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat. ....	200
Kuva 8.5	Ydinteeman JÄRJESTELMÄN OPTIMOINTI kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat. ....	207
Kuva 9.1	Ydinteeman PÄÄTÖKSENTEON TUKIJÄRJESTELMÄT kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat. ....	213
Kuva 9.2	Ydinteeman AIKATAULU- JA KAPASITEETTISUUNNITTELU kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat. ....	217
Kuva 9.3	Primäärisen viiveen ketjuuntuminen Delorme et al. (2009) mukaan. ....	218
Kuva 9.4	Matka-ajan eri osat Vansteenwegenin ja Van Oudheusdenin (2006) mukaan. ....	221
Kuva 9.5	Ydinteeman LIIKENTEENOHJAUS kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat. ....	225
Kuva 9.6	Täsmällisyyden suhde junien lukumäärään Mazzarellon ja Ottavianin (2007) mukaan. ....	230
Kuva 9.7	Ydinteeman REAALIAIKAISET JÄRJESTELMÄT kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat. ....	231
Kuva 9.8	Teeman INFORMAATIOJÄRJESTELMÄT kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat. ....	239

## TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 4.1	Julkaisujen luokittelu ja ryhmittely teemoihin ja teemaryhmiin.....	35
Taulukko 4.2	Julkaisujen tekijöiden organisaatioiden sijaintimaat kirjallisuuskatsauksen aineistossa. ....	38
Taulukko 4.3	Julkaisujen tekijöiden organisaatiot kirjallisuuskatsauksen aineistossa. ...	39
Taulukko 4.4	Tekijät, joilta on eniten julkaisuja kirjallisuuskatsauksessa. 18 tekijällä on vähintään neljä julkaisua.....	41
Taulukko 4.5	Sarjajulkaisut, joihin on kirjallisuuskatsauksessa täysosumia tai merkittäviä osumia, sekä julkaisujen keskeiset aihepiirit. ....	55
Taulukko 4.6	Sarjajulkaisujen julkaisutietoja ja vaikuttavuuden arviointia. Mukana ovat julkaisut, joihin on kirjallisuuskatsauksessa täysosumia tai merkittäviä osumia. Julkaisujen järjestys on taulukon 4.5 mukainen.....	57
Taulukko 4.7	Konferenssit, joihin on kirjallisuuskatsauksessa täysosumia tai merkittäviä osumia.....	62
Taulukko 4.8	Esimerkkejä konferensseista, jotka soveltuvat aihepiiriensä puolesta liikennejärjestelmälähtöisen rautateiden täsmällisyystutkimuksen esittelyyn. ....	65



# 1 TUTKIMUKSEN LÄHTÖKOHDAT

## 1.1 Taustaa

Täsmällisyys on rautatieliikennejärjestelmän ominaisuus, joka nykyisin mielletään usein negatiivisessa sävyssä ja ilmeneväksi epätäsmällisyytenä. Täsmällisyys on merkittävä liikenteen laadun osatekijä, ja sen merkitys on korostunut voimakkaasti yhteiskunnan arvojen muuttuessa: Ihmisten liikkuvuuden lisääntyminen, globalisaatio, kulkumuotojen aiempaa voimakkaampi keskinäinen kilpailu ja asiakkaiden vaatimusten kasvu vaikuttavat myös rautatieliikenteeseen. Yhteiskunnan muutos on haaste myös täsmällisen liikenteen järjestämisen kannalta. Infrastruktuurin kohonnut käyttöaste ja markkinoiden avautuminen kilpailulle edellyttävät liikenteeltä aikaisempaa suurempaa täsmällisyyttä.

Täsmällisyydellä on merkittävä vaikutus rautatieliikennejärjestelmän suorituskykyyn. Myöhästymiset heikentävät koko liikennemuodon houkuttelevuutta. Laadun heikkene-  
misen lisäksi epätäsmällisyydellä on yhteiskuntataloudellisia vaikutuksia. Siitä aiheutuu kustannuksia niin asiakkaille, rautatieoperaattoreille kuin radanpitäjillekin. Rautatieliikennejärjestelmän luonteen vuoksi viiveet ketjuuntuvat helposti, jolloin epätäsmällisyyden vaikutukset myös kumuloituvat nopeasti.

Täsmällisyyden ja matka-ajan luotettavuuden merkitys korostuu erityisesti liikenne-  
muodoissa, joissa liikutaan aikataulun mukaan, kuten rautatieliikenteessä. Rautatieliikenteen täsmällisyydestä onkin tullut haaste ympäri maailman.

Suomessa täsmällisyyden kehitystyön lähtökohtana ovat olleet konkreettiset haasteet, joihin on vastattu käytännönläheisillä selvityksillä. Täsmällisyyden tieteellisen tutkimuksen painoarvo on ollut melko vähäinen. Näin ollen on olemassa selvä tarve syventää aihealueen tieteellistä ja teoreettista osaamista. Vahva teoreettinen osaaminen antaa hyvän lähtökohdan kehittää järjestelmää myöhemmin myös käytännön sovelluksin.

Katsaus aiempaan tutkimukseen on lähes kaiken tieteellisen tutkimuksen perusta. Siihen perustuen voidaan muodostaa uusiin tutkimuskysymyksiin liittyvä viitekehys ja määrittää ne alueet, joilla uutta tutkimusta tulee tehdä. Siksi on tärkeää, että tieteellisten julkaisujen joukossa on myös kirjallisuuskatsauksia, jotka tuovat esille ajankohtaiset aiheet, jäsensivät tutkimuskenttää ja osoittavat tulevaisuuden tutkimuskohteet. Tämä raportti toimii juuri tällaisena katsauksena.

## 1.2 Tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena on ollut kartoittaa ja analysoida rautatieliikenteen täsmällisyyteen liittyvän tutkimuksen tila kansainvälisesti. Tutkimuskentän jäsensivien lisäksi tarkoituksena on ollut saavuttaa syvällinen ymmärrys täsmällisyyden taustalla olevista teorioista sekä täsmällisyyteen liittyvistä sovelluksista.

Tutkimuksen lopputuloksena muodostuu kattava käsitys täsmällisyydetutkimuksen nykytilasta ja trendeistä, joiden perustalle tuleva tutkimus voidaan asemoida. Samalla esitetään teemoja ja näkökulmia, joihin tulevaa tutkimusta olisi tarpeen suunnata.

### 1.3 Tutkimusote ja tutkimuksen rakenne

Tutkimus on luonteeltaan eksploratiivinen esiselvitys. Tutkimuksen tarkoituksena ei ole ratkaista yksittäistä ongelmaa, vaan sillä pyritään laaja-alaisesti kartoittamaan ja analysoimaan rautatieliikenteen täsmällisyyteen liittyvää tutkimusta ja siten tarjoamaan vahva perusta sekä käytännön kehitystyölle että tieteelliselle tutkimukselle. Tämä tutkimusraportti on yhdistetty kirjallisuuskatsaus ja bibliometrinen analyysi rautatieliikenteen täsmällisyystutkimuksesta.

**Kirjallisuuskatsaus** (ks. esim. Webster & Watson 2002) on julkaisu, jossa tarkastellaan analyttisesti tietyn aihepiirin aikaisempi tutkimus. Kirjallisuuskatsauksen tekijä arvioi, vertailee, luokittelee ja kommentoi olennaista aikaisempaa tutkimusta tavoitteenaan muun muassa

- jäsentää aikaisempaa tutkimusta ja esitellä sen käsitteistöt ja tutkimusongelmat
- suhteuttaa aikaisempaa tutkimusta omaan tulevaan tutkimukseensa ja siten luoda lähtökohta omalle tutkimukselleen ja sen näkökulmille
- kartoittaa erilaisia teoreettisia, metodisia ja käsitteellisiä vaihtoehtoja uudelle tutkimukselle.

**Bibliometrinen analyysi** (ks. esim. Harboe-Ree 2005) puolestaan tarkoittaa tutkimusta, jossa erilaisin menetelmin analysoidaan tietyn aihepiirin tieteellisten julkaisujen muodostamaa kenttää julkaisujen metatietojen perusteella. Tällaista bibliometristä dataa ovat muun muassa tekijät ja tekijöiden organisaatiot, lähdeviitteet, viittaukset muista julkaisuista, avainsanat ja julkaisukanavat (lehdet).

Bibliometrisen analyysin tuloksena syntyy erilaisia tilastoja ja verkostoja eniten viitatuista julkaisuista, viittaavista julkaisuista, yhteistyöverkostoista, tekijöistä ja näiden organisaatioista. Näillä vastataan esimerkiksi seuraavankaltaisiin kysymyksiin:

- Ketkä ovat aihepiirin merkittävimmät tutkijat ja heidän organisaationsa ja maansa?
- Mitkä tahot ovat tehneet tutkimusyhteistyötä ja miten tämä on vaikuttanut?
- Mihin aihepiirin tutkimuksissa on viitattu?
- Miten aihepiirin tutkimusta voidaan luokitella sen avainsanojen perusteella?
- Kuinka tilanne on kehittynyt jollakin aikavälillä, mitä trendejä on havaittavissa?

Tutkimuksen luonteen vuoksi sen sisällölle, painotuksille, rakenteelle ja toteutukselle asetettiin aluksi vain likimääräiset reunaehdot siten, etteivät ne rajoittaisi liikaa tutkimuskentän jäsentymistä. Myös tutkimusmenetelmä, *grounded theory* (ks. luku 2.1), valittiin tukemaan tätä lähestymistapaa. Sitä käyttäen edellä mainitut tekijät muokkauivat aineiston ehdoilla, jolloin tutkimuskentästä muodostui mahdollisimman hyvin todellisuutta vastaava kuva.



## Raportin rakenne

Tämän johdantoluvun jälkeen luvussa 2 esitellään käytetyt tutkimusmenetelmät ja käytännön toteutuksen vaiheet. Luvussa 3 määritellään tutkimuksen keskeisimmät käsitteet, kuten täsmällisyys, viive ja myöhästyminen. Luvussa 4 luodaan yleiskatsaus täsmällisyystutkimuksen nykytilaan tutkimuksen aineiston perusteella. Tarkasteltavana ovat muun muassa aihepiirin eniten julkaisseet tutkijat ja organisaatiot sekä käytetyimmät julkaisukanavat. Luku muodostaa suurimman osan katsauksen bibliometrisestä analyysistä.

Julkaisujen esittely ja analysointi sisältyvät lukuihin 5–9, joista kussakin tarkastellaan omaa teemaryhmää. Kukin näistä luvuista on edelleen jaettu alalukuihin, joissa tarkastellaan kunkin teemaryhmän eri teemojen julkaisuja. Raportin liitteeksi on lisäksi koottu luettelot kunkin teeman keskeisistä julkaisuista. Teemaryhmät ja teemat ovat eri näkökulmia täsmällisyystutkimukseen. Tämä luokittelu syntyi tutkimuksen aikana, kun *grounded theory* -menetelmää sovellettiin kerättyyn aineistoon. Toisin sanoen se jäsentää aihepiirin tutkimusta valitun aineiston avulla. Luokittelua voidaan pitää yhtenä bibliometrisen analyysin tuloksena.

Lukuun 5 on koottu julkaisuja, joissa tutkimuksen painopiste on jossakin liikennejärjestelmän osassa. Tarkastellut osat ovat infrastruktuuri, rautatieoperaattori, asiakas, matkustajaliikenne, tavaraliikenne sekä matka- ja kuljetusketjut.

Luvussa 6 esitellään julkaisuja, joissa korostuu jokin tietty tutkimus- tai tarkastelumenetelmä. Näitä menetelmiä ovat matemaattiset ja tilastolliset menetelmät, mallintaminen, simulointi, operaatioanalyysi, ohjelmiston hyödyntäminen sekä tapaustutkimus.

Luvussa 7 käsiteltävissä julkaisuissa tutkimuksen päähuomio keskittyy viiveisiin ja myöhästymisiin. Eri näkökulmina tarkastellaan viiveiden syitä, viiveiden ketjuuntumista, myöhästymisten seurauksia, myöhästymisten mittaamista ja ajan arvottamista.

Luvussa 8 tarkastellaan julkaisuja, joissa on jokin selkeä täsmällisyyteen liittyvä yleisen tason kehitystavoite. Kehitystavoitteina on käsitelty seuraavia teemoja: johtamisen kehittäminen, palvelun laadun parantaminen, luotettavuuden lisääminen, häiriösietoisuuden parantaminen ja järjestelmän optimointi.

Luvussa 9 käsiteltävissä julkaisuissa pyritään kehittämään jotain konkreettista täsmällisyyteen liittyvää järjestelmää. Tällaisia järjestelmiä ovat päätöksenteon tukijärjestelmät, aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelu, liikenteenohjaus, reaaliaikaiset järjestelmät ja informaatiojärjestelmät.

Lopuksi luvussa 10 esitellään tutkimuksen johtopäätökset, arvioidaan työn tieteellistä ja käytännöllistä merkitystä sekä tutkimustavoitteiden saavuttamista. Lisäksi esitetään näkökulmia, joihin tulisi jatkossa suunnata enemmän tutkimuksellista huomiota.

## 2 TUTKIMUKSEN MENETELMÄT JA TOTEUTUS

### 2.1 Tutkimusmenetelmät

Tässä luvussa kuvataan menetelmät, joilla kirjallisuuskatsaus ja bibliometrinen analyysi toteutetaan: miten julkaisut haetaan ja valitaan, kuinka ne luokitellaan ja analysoidaan sekä kuinka kirjallisuuskatsausta lopuksi arvioidaan.

#### *Menetelmät julkaisujen hakuun ja valintaan*

Kirjallisuuskatsauksen ja bibliometrisen analyysin ensimmäisessä vaiheessa hankitaan tarkasteltava aineisto. Websterin ja Watsonin (2002) mukaan laadukas kirjallisuuskatsaus ei rajaa tarkasteltavaa julkaisujoukkoa liian voimakkaasti esimerkiksi maantieteellisesti tai julkaisufoorumin perusteella. Kirjallisuuskatsauksessa ei myöskään pidä olla liian kriittinen löydetyn kirjallisuuden laadun suhteen. Tärkeintä on saada kerättyä kattava aineisto valitusta aihepiiristä, jotta hahmotetaan, miten sitä on tutkittu. Kattavan aineiston saamiseksi Webster ja Watson (2002) ehdottavat julkaisujen hakuun systemaattista mallia, joka etenee vaiheittain seuraavasti:

1. **Aloitetaan tutkimus.** Useimmat merkittävistä artikkeleista löytyvät alan laadukkaista jurnaaleista, joten on perusteltua aloittaa niihin tehtävillä hauilla. Hyviä artikkeleita voidaan myös etsiä laadukkaiden konferenssien julkaisuista.
2. **Selvitetään taustateoriat.** Mennään *takaisinpäin* löydettyjen julkaisujen avulla. Toisin sanoen tarkastellaan niitä julkaisuja, joihin löydettyissä artikkeleissa viitataan.
3. **Etsitään uutta.** Mennään *eteenpäin* selvittämällä erilaisten viittaustietokantojen avulla, mistä löydettyihin julkaisuihin on viitattu. Näin löydetään uusia laadukkaita artikkeleita.

Tällaisen systemaattisen tarkastelun avulla voidaan varmistua, että aiheesta saadaan muodostettua riittävän aukoton kirjallisuuskatsaus. Katsauksen julkaisuhaku voidaan lopettaa, kun huomataan, ettei esille enää nouse uusia teemoja. Osa relevanteista julkaisuista jää tälläkin menetelmällä katsauksen ulkopuolelle. (Webster & Watson 2002)

Ulkopuolelle jääneitä julkaisuja voidaan etsiä tarkastelemalla katsauksen aikana muodostunutta tutkimuskentän viitekehystä:

- **Tekijät:** mitä muuta alan tekijät ovat julkaisseet?
- **Organisaatiot:** mitä muuta em. tekijöiden organisaatiot ovat julkaisseet?
- **Journaalit:** mitä muuta alan jurnaaleissa on julkaistu?
- **Konferenssit:** mitä muuta alan konferensseissa on julkaistu?

Tässä tutkimuksessa julkaisujen hakuun sovelletaan yllä mainittuja vaiheita luvussa 2.2 tarkennettavalla tavalla.

#### *Menetelmät valittujen julkaisujen analysointiin*

Kun aineisto on kerätty, aloitetaan sen analysointi. Websterin ja Watsonin (2002) mukaan laadukkaassa kirjallisuuskatsauksessa ei tässäkään vaiheessa aseteta liian tiukkoja reunaehdoja esimerkiksi analysointimenetelmien suhteen. On nimittäin tärkeää havaita, että kirjallisuuskatsauksessa ei yksistään jäsennetä aiempaa kirjallisuutta, vaan



tavoitteena on myös arvioida tulevan tutkimuksen tarpeita. Näin ollen on tärkeää tarkastella, mitä aiheita tai näkökulmia olemassa oleva kirjallisuus ei kata. Samalla katsauksen tekijä pystyy asemoidaan omaa tulevaa tutkimustaan.

Jotta edellä mainittuihin tavoitteisiin päästään, kirjallisuuskatsaus ei saa olla pelkkä julkaisujen listaus. Sen sijaan katsaukseen tulee sisältyä analyysi esimerkiksi julkaisujen aihealueista, tekijöistä, laadusta ja muista vastaavista muuttujista, maininta puuttuvista osa-alueista kirjallisuudessa sekä muita teoreettisia huomautuksia (Webster & Watson 2002). Näiden vaatimusten täyttämiseksi tässä kirjallisuuskatsauksessa julkaisujen luokittelussa ja analysoinnissa sovelletaan *grounded theory* -menetelmää. Sitä hyödyntämällä saadaan valitusta aihealueesta, rautatieliikennejärjestelmän täsmällisyyden tutkimuksesta, laadittua paitsi moniulotteinen *kirjallisuuskatsaus* myös *bibliometrinen analyysi*.

Glaser ja Strauss kehittivät 1960–1970-luvuilla *grounded theoryn*, aineistopohjaisen teorian, joka on erityisesti laadullisten tutkimusten osana käytettäväksi tarkoitettu aineiston analysointimenetelmä (ks. esim. Glaser & Strauss 1967, Glaser 1978, Koskennurmi-Sivonen 2007). Menetelmän kantavana ajatuksena on, että aineistoa tarkastellaan ja analysoidaan ilman ennakko-odotuksia, tutkimuskysymyksiä tai hypoteeseja. Tavoitteena on, että aineisto puhuu puolestaan ja esille nousee oleellisia teemoja, trendejä ja teorioita aineiston koodauksen ja järjestämisen kautta. Grounded viittaa siis ajatukseen, että löydökset ovat aineistolla perusteltuja.

Useimmissa tutkimusmenetelmissä tutkimusongelmat johdetaan olemassa olevista teorioista. Tutkimuksessa ei silloin – ainakaan ensisijaisesti – synny uusia käsitteitä eikä teorioita. Asioita pyritään lähinnä todentamaan. Grounded theory -menetelmällä puolestaan pyritään ennen kaikkea löytämään uusia ilmiöitä ja lainalaisuuksia. Näin ollen menetelmä sopii sellaisiin tutkimuskohteisiin, joista ei vielä ole olemassa teoreettista ja jäsentynyttä tietoa, mutta joista sellaista tarvitaan esimerkiksi perustutkimukseksi tai ammatillisen päätöksenteon tueksi.

Ensimmäisessä, ns. *open coding* -vaiheessa aineistoa käydään läpi, kirjataan esille nousseet keskeiset teemat, termit, tekijät ja muut vastaavat metatiedot sekä koodataan ne. Koodit liitetään julkaisuihin myöhempää tarkastelua varten. Keskeistä menetelmälle on, että tehty koodaus otetaan huomioon lopun aineiston analysoinnissa: esille nousseet teemat ja termit antavat suuntaviivat siihen, miten loppua aineistoa on syytä käydä läpi ja koodata. Prosessin aikana siis verrataan eri julkaisujen koodeja toisiinsa ja etsitään korrelaatioita, yhteneväisyyksiä ja eroavaisuuksia. Kun tätä kautta ajatus esimerkiksi uudesta teemasta tai mallista herää, se kirjataan välittömästi. Tämä on osoittautunut tärkeäksi linkiksi koodauksen ja uusien seikkojen esiin nousemisen välillä. Teorioiden syntymisen lisäksi vaiheen myötä aineisto jäsentyy teemoittain kategorioihin.

Ensimmäinen vaihe päättyy, kun saavutetaan sellainen saturaatiopiste, jonka jälkeen uusia asioita ei enää ilmene ja kategoriat vakiintuvat. Toisessa, ns. *selective coding* -vaiheessa määritellään yksi tai useampi ydinkategoria. Tämän jälkeen tarkastellaan, kuinka muut kategoriat linkittyvät näihin ydinkategorioihin. Nämä yhteydet voidaan esittää esimerkiksi taulukoimalla tai erilaisilla graafisilla esityksillä. On tärkeää, että kategorioita ja niiden välisiä yhteyksiä validoidaan ja muokataan tarpeen mukaan jatkuvasti prosessin aikana. Lopuksi julkaisut voidaan linkittää syntyneeseen viitekehykseen.



Analyysin myötä muodostuu jäsennelty ymmärrys siitä, mitä asioita alan tutkimus käsittelee ja mistä näkökulmista. Näin esille nousee tärkeitä ja ajankohtaisia tutkimusteemoja, uusia malleja, teorioita ja hypoteeseja tutkimusalaan liittyen sekä teemoja ja näkökulmia, joita alalla ei ole vielä tutkittu. Lisäksi alan tutkimuskenttä jäsentyy julkaisujen metatietojen perusteella esimerkiksi siitä näkökulmasta, mitkä kirjoittajat ja organisaatiot ovat keskeisiä tutkimuksen tekijöitä. Lopputuloksena muodostuu yhdistetty kirjallisuuskatsaus ja bibliometrinen analyysi valitun aihepiirin tutkimuksesta.

### ***Menetelmät tutkimuksen arviointiin***

Kuten muissakin tutkimusmenetelmissä, myös kirjallisuuskatsauksen jälkeen on syytä arvioida tehtyä työtä. Websterin ja Watsonin (2002) mukaan omaa julkaisua arvioidessa tulee kiinnittää huomiota ainakin seuraaviin kysymyksiin

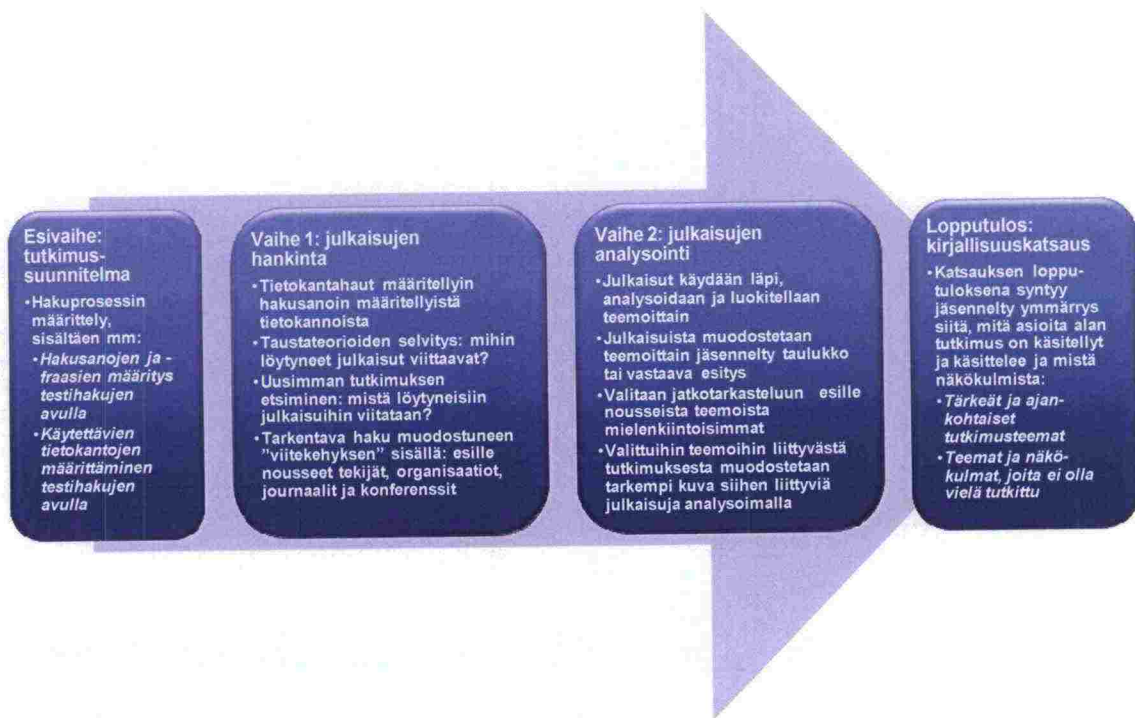
1. **Kontribuutio:** Mitä uutta katsaus tuo alan tutkimukseen? Jäsentääkö se tutkimuskenttää, löytyikö sen avulla tutkimattomia teemoja tai nostiko se jopa esille uusia lainalaisuuksia tai teorioita?
2. **Vaikutukset:** Miten katsaus vaikuttaa alan tutkimukseen? Kuka tuloksia voi hyödyntää ja miten, ja kuinka todennäköistä on, että näin käy?
3. **Loogisuus:** Miksi katsaus on tehty niin kuin se on tehty? Onko esimerkiksi tutkimusmenetelmien valinta ja käyttö loogista ja perusteltua?
4. **Perusteellisuus:** Kuinka hyvin katsaus on tehty? Onko esimerkiksi aineisto valittu kattavasti ja onko tulokset arvioitu huolellisesti?

Grounded theory -menetelmän tuloksien arvioinnin osalta on huomattava, että menetelmän tarkoituksena on ennen kaikkea osoittaa aineistosta käsitteellisiä ilmiöitä ja niiden välisiä suhteita. Näin ollen sitä tulisi käyttää vain harkiten määrällisiin kuvauksiin tai todennäköisyyksien määrittämiseen. Menetelmä myös vaatii tekijältään paljon, sillä aineistoa läpi käydessä on esimerkiksi pystyttävä yleistämään samankaltaiset, mutta eri tavalla esitetyt asiat yhdeksi käsitteeksi. Lisäksi menetelmän haasteena on, että aineiston tulkinta säilyy objektiivisena, eikä mitään jätetä pois vain siksi, että se on poikkeus säännöstä.

## **2.2 Tutkimuksen toteutus**

### ***Esivaiheen toteutus***

Ennen varsinaista kirjallisuuskatsausta ja bibliometristä analyysiä tutkimuksessa suoritettiin ns. esivaihe. Tutkimusmenetelmien lisäksi esivaiheessa määriteltiin muun muassa, millä hakusanoilla ja mistä tietokannoista rautatieliikenteen täsmällisyyteen liittyviä julkaisuja etsitään. Tämän vuoksi vaiheen aikana tehtiin kattava määrä erilaisia testihakuja. Esivaihe ja muut tutkimuksen etenemisvaiheet on esitetty kuvassa 2.1.

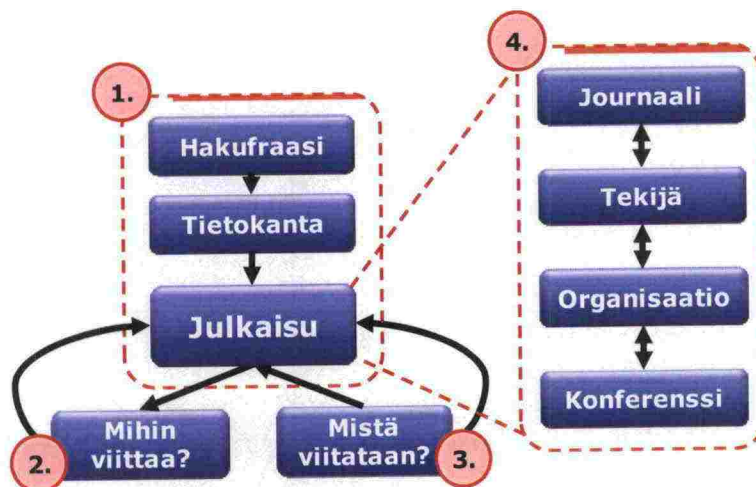


Kuva 2.1 Tutkimuksen etenemisvaiheet.

Esivaiheen jälkeen siirryttiin vaiheeseen 1, jossa systemaattisesti haetaan katsaukseen valittavat julkaisut. Vaiheessa 2 nämä julkaisut analysoidtiin ja luokiteltiin. Lopputuloksena syntyy kirjallisuuskatsaus, joka kuvaa jäsennellyt rautatieliikenteen täsmällisyyteen liittyvän tutkimuksen nykytilan.

### Julkaisujen haku ja valinta

Ensimmäisessä vaiheessa haettiin ja valittiin tutkimuksen aineisto käyden systemaattisesti läpi täsmällisyysteemaan liittyvä tutkimus. Tämä on tehty luvussa 2.1 kuvatulla tavalla. Julkaisujen käytännön hakuprosessia on havainnollistettu kuvassa 2.2.



Kuva 2.2 Julkaisujen hakuprosessin vaiheet.



Julkaisuiden etsiminen ja valinta eteni seuraavasti:

1. **Aloit.** Tehtiin valituilla hakufraaseilla haut valittuihin tietokantoihin. Tallennettiin kaikki relevantit osumat RefWorks-tietokantaan, kuten kaikissa myöhemmissäkin vaiheissa.
2. **Taustateorioiden selvitys.** Mentiin *takaisinpäin* tarkastelemalla niitä julkaisuja, joihin löydetyissä julkaisuissa viitattiin.
3. **Uuden etsiminen.** Mentiin *eteenpäin* selvittämällä viittauskantoja apuna käyttäen, mitkä julkaisut viittasivat kohdissa 1 ja 2 löydettyihin julkaisuihin.
4. **Tarkentava haku viitekehityksen sisällä.** Tarkasteltiin haun aikana muodostunutta viitekehystä seuraavasti:
  - a. Esille nousseiden tekijöiden muut julkaisut
  - b. Em. tekijöiden organisaatioiden muut julkaisut
  - c. Esille nousseiden konferenssien muut julkaisut
  - d. Esille nousseiden journalien muut julkaisut.

Esivaiheen testihakujen avulla määriteltiin tietokantahauissa käytettävät hakufraasit, jotka muodostuvat seuraavasti:

**Yleisen tason hakusanat**, joista jonkun on esiinnyttävä haussa:

1. **rail\*** (*title, abstract, keywords*)
2. **train AND (traffic OR transport) NOT rail\*** (*title, abstract, keywords*)

Oletetaan siis, että jos julkaisu käsittelee rautatieliikennettä, niin sen otsikossa, tiivistelmässä tai hakusanoissa esiintyy

1. **rata**-termi tai sen johdannainen. Hakuun tulevat näin mukaan muun muassa **railway**- ja **railroad**-termit.
2. **juna**-termi yhdessä **liikenne**- tai **kuljetus**-termin kanssa. **train**-termiä ei ole mielekästä hakea yksinään, sillä se tarkoittaa **juna**-termin lisäksi myös muun muassa **ketju**- ja **harjoitella**-termejä. Lisäksi rajataan ulkopuolelle ne julkaisut, joissa esiintyy **rata**-termi tai jokin johdannainen, jotta vältetään päällekkäisiltä julkaisuilta.

Jotta yleisen tason hakutermeillä ja -fraaseilla rautatieliikenteeseen rajattu haku saatiin edelleen rajattua täsmällisyyttä käsitteleviin tai sitä sivuaviin julkaisuihin, tarvittiin lisäksi **tarkentavia hakusanoja**. Esivaiheen koehakujen perusteella valittiin seuraavat tarkentavat hakusanat, joista jonkun oli esiinnyttävä haussa yhdessä jonkin yleisen tason hakutermien tai -fraasin kanssa:

- A. **punctual\*** (*all fields*)
- B. **delay** (*title, abstract, keywords*)
- C. **reliabil\*** (*title, abstract, keywords*)

Näistä **täsmällisyys**-termi on niin keskeinen katsauksen kannalta, että sitä etsittiin otsikon, tiivistelmän ja hakusanojen lisäksi myös kaikista muista kentistä, myös varsinaisesta tekstistä. **Viive**-termi sekä **luotettavuus**-termi ja sen johdannaiset puolestaan ovat niin yleisesti käytettyjä, että niiden osalta haku rajattiin otsikkoon, tiivistelmään ja hakusanoihin, jotta tulospöytä pysyi hallittavan kokoisena.



Esivaiheessa käytiin läpi myös muita vaihtoehtoja tarkentaviksi hakusanoiksi. Niiden käyttö kuitenkin rajattiin ulkopuolelle eri syistä. Sanat ja syyt on esitetty alla:

- **quality**. Tuottaa vain satunnaisia uusia hakuosumia valittujen hakusanakombinaatioiden lisäksi. Lisäksi tuottaa erittäin paljon epärelevantteja osumia, sillä termi on hyvin yleinen monissa eri yhteyksissä.
- **exact\***, **precis\***. Ei vakiintuneita termejä tarkoittamaan täsmällisyyttä, joten tuottavat vain joitakin osumia. Lisäksi tuottavat erittäin paljon epärelevantteja osumia, sillä termit ovat hyvin yleisiä monissa eri yhteyksissä.
- **promptness, fidelity, timekeep\***. Ei vakiintuneita termejä tarkoittamaan täsmällisyyttä, joten tuottavat vain joitakin osumia.
- **accuracy**. Ei käytetä täsmällisyys-merkityksessä, vaan tarkkuus-sanana käännöksenä esimerkiksi erilaisiin mittauksiin liittyvissä asioissa, joten tuottaa paljon epärelevantteja osumia ja vain satunnaisia osumia.
- **timetabl\***, **schedul\***. Yleisesti ja erityisesti aikataulusuunnittelussa käytettyjä termejä, joten tuottavat erittäin paljon epärelevantteja osumia.
- **pathing\***, **dispatch\***. Ratakapasiteetin jakamiseen ja käyttöön liittyviä termejä, joten tuottavat erittäin paljon epärelevantteja osumia.

Haut tehtiin siten, että kussakin haussa yhdistettiin AND-operaattorilla yksi yleisen tason termi ja yksi tarkentava hakusana. Näin ollen kuhunkin tietokantaan tehtiin seuraavat haut:

- **rail\*** (*title, abstract, keywords*) AND **punctual\*** (*all fields*)
- **rail\*** (*title, abstract, keywords*) AND **delay** (*title, abstract, keywords*)
- **rail\*** (*title, abstract, keywords*) AND **reliabil\*** (*title, abstract, keywords*)
- (**train** AND (**traffic** OR **transport**) NOT **rail\***) (*title, abstract, keywords*) AND **punctual\*** (*all fields*)
- (**train** AND (**traffic** OR **transport**) NOT **rail\***) (*title, abstract, keywords*) AND **delay** (*title, abstract, keywords*)
- (**train** AND (**traffic** OR **transport**) NOT **rail\***) (*title, abstract, keywords*) AND **reliabil\*** (*title, abstract, keywords*)

Esivaiheen testihakujen avulla määriteltiin myös ne tietokannat, joihin haut kohdistettiin. Valittujen tietokantojen joukossa oli sekä monitieteisiä että sellaisia, jotka ovat keskittyneet erityisesti liikennealaan, ja ne kattoivat alaan liittyvän tutkimuksen hyvin laajasti. Tietokannoista käytiin ensin läpi ne, jotka esivaiheessa arvioitiin potentiaalisimmiksi. Näin saturaatiopiste saavutettiin nopeammin. Valitut tietokannat olivat

- Emerald
- SpringerLink
- ScienceDirect
- Compendex + Referex
- Scopus
- ULRICH's International Periodicals Directory
- EBSCOhost
- ISI Web of Knowledge ja ISI Journal Citation Reports
- Wiley Interscience

- IEEE Xplore
- ABI Inform
- Cambridge Scientific Abstracts
- Nelli-portaali.

Kustakin tietokantahausta valittiin vain relevantit julkaisut. Periaatteena oli, että julkaisun pääsisällön tulee käsitellä täsmällisyysteemaa tai sitä sivuavaa asiaa. Näin ollen julkaisut, joissa täsmällisyys mainitaan vain sivuhuomiona, rajattiin ulkopuolelle. Lisäksi huomiota kiinnitettiin julkaisujen laatuun: esimerkiksi konferenssiartikkeleista mukaan valittiin vain sellaiset, jotka oli julkaistu tieteellisten konferenssien yhteydessä.

Hakuja räätälöitiin tarvittaessa kussakin tietokannassa tietokannan hakuominaisuuksien mukaan. Joissakin kannoissa hakua ei esimerkiksi voitu rajata juuri otsikkoon, tiivistelmään ja hakusanoihin. Lisäksi hakukäyttöliittymien erityisominaisuuksia käytettiin tarpeen mukaan. Joissakin tietokannoissa hakua voitiin esimerkiksi rajata EI-luokittelukoodien avulla käsittämään vain tietyt aihealueet, jolloin epärelevantit osumat saatiin rajattua ulkopuolelle.

Kaikki mukaan valitut julkaisut tallennettiin tutkijaryhmän yhteiskäytössä olevaan RefWorks-tietokantaan. Kätevän tallennuksen lisäksi se antoi mahdollisuuden esimerkiksi julkaisujen luokitteluun ja päällekkäisyyksien poistoon. Näin hakuprosessista muodostui organisoitu ja se dokumentoi osaltaan itse itseään.

Tietokantahaut tehtiin 12.2.2009–31.3.2009. Aihepiirin kannalta kaikkein merkittävimmiksi kannoiksi osoittautuivat ScienceDirect, Compendex ja Scopus. Muista kannoista hakuosumia löytyi huomattavasti vähemmän ja suurin osa niistäkin oli päällekkäisiä em. kolmen kannan osumien kanssa. Saturaatiopiste saavutettiin selvästi, sillä loppuvaiheessa hakuja valtaosa uusista osumista oli jo löytyneiden artikkeleiden eri versioita. Tietokantahakujen avulla tutkimukseen valittiin yli 400 julkaisua, joista osa hylättiin myöhemmässä vaiheessa.

### *Valittujen julkaisujen analysointi*

Tutkimuksen toisessa vaiheessa valitut julkaisut luokiteltiin ja analysoitiin. Aihepiiriä tutkittiin ilman ennako-odotuksia kartoittaen teemoja ja trendejä aineistosta – julkaisuista – tehtyjen havaintojen, niiden koodauksen ja järjestämisen kautta. Työssä on sovellettu grounded theory -menetelmää, joka on esitelty luvussa 2.1.

Menetelmän **open coding** -vaiheessa julkaisut koodattiin, luokiteltiin ja analysoitiin teemoittain. Julkaisuista muodostettiin teemoittain jäsennelty taulukko. Tässä vaiheessa hyödynnettiin myös RefWorks-tietokannan luokitteluominaisuuksia. Taulukoitua tietoa käytettiin hyväksi erityisesti tutkimuksen bibliometriseen tarkasteluun painottuneessa osassa. **Selective coding** -vaiheessa jatkotarkasteluun valittiin ne julkaisut, jotka käsitelivät erityisesti täsmällisyyttä. Työssä on kuvattu kuhunkin teemaan liittyvä täsmällisyystutkimus sekä esitelty ja analysoitu keskeisiä teemoihin liittyviä julkaisuja (luvut 5–9).

Julkaisut analysoitiin kevään ja kesän 2009 aikana. Tässä vaiheessa osa julkaisuista hylättiin. Toisaalta aineistoa täydennettiin myös uusilla julkaisuilla, sillä analysoinnin yhteydessä etsittiin uusia tutkimuksia viitetietojen avulla tässä luvussa aikaisemmin



kuvatulla tavalla. Näin ollen tutkimuksen lopulliseksi aineistoksi valikoitui 326 julkaisua.

### ***Kirjallisuuskatsauksen ja bibliometrisen analyysin toteutus***

Varsinainen tutkimusraportti, tämä dokumentti, kirjoitettiin kesän ja alkusyksyn 2009 aikana. Bibliometrisen analyysin ja kirjallisuuskatsauksen lisäksi raporttiin sisällytettiin tässä vaiheessa myös keskeisten käsitteiden määrittelyt.

### ***Tutkimuksen arviointi***

Tutkimuksen arviointi toteutettiin luvussa 2.1 kuvatulla tavalla, ja se on esitetty luvussa 10 Johtopäätökset. Tutkimuksen arvioinnin lisäksi luvussa tarkastellaan, mitä Suomen rautatiejärjestelmän kannalta relevantteja tutkimusaiheita tämä kirjallisuuskatsaus nosti esille.



### 3 KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

Tässä luvussa tarkastellaan rautatieliikenteen täsmällisyyteen liittyviä käsitteitä. Tieteellisissä julkaisuissa näitä käsitteitä määritellään ja käytetään hyvin kirjavasti. Tässä luvussa tavoitteena on muodostaa kustakin käsitteestä kirjallisuuden ja suomalaisten käytäntöjen pohjalta määritelmät, joita käytetään sekä tässä tutkimuksessa että myöhemmin tehtävässä jatkotutkimuksessa.

Kutakin käsitettä on lähestytty omassa alaluvussa kokoamalla kirjallisuudesta siihen liittyvät varteenotettavat määritelmät. Niiden pohjalta on kunkin alaluvun lopuksi muodostettu lyhyt, suomenkielinen määritelmä, jossa on huomioitu Suomessa vakiintuneet ilmaisut. Kussakin luvussa on esitetty myös kirjallisuudessa käytetyt englanninkieliset vastineet termeille.

#### 3.1 Täsmällisyys (punctuality, on-time performance)

Täsmällisyys on tämän kirjallisuuskatsauksen ydinkäsite. Näin ollen sitä on käsitelty muita käsitteitä laajemmin. Laajaa käsittelyä puoltaa myös se, että käsitteen merkitys rautatieliikenteessä vaikuttaa olevan melko vakiintumaton ja eri yhteyksissä sillä tarkoitetaan hyvin eri asioita. Asian haastavuutta lisää myös se, että englannin kielessä asiaan viitataan monin eri termein. Tässä tutkimuksessa täsmällisyydellä tarkoitetaan käsitettä, joka on englanniksi *punctuality* ja amerikanenglanniksi *on-time performance* tai *schedule adherence*.

Olssonin ja Hauglandin (2004) artikkelissa Gylee määrittelee täsmällisyyden olevan kyky saavuttaa määränpää turvallisesti ilmoitetussa aikataulussa, kun taas Rudnickin mukaan täsmällisyys viittaa siihen, että ennalta määritelty kulkuneuvo lähtee, saapuu tai ohittaa tietyn pisteen ennalta määrättynä ajanhetkenä. Olsson ja Haugland itse toteavat täsmällisyydestä seuraavaa: Täsmällisyys liittyy pääsääntöisesti poikkeamiin – yleensä negatiivisiin – aikataulusta. Täsmällisyyttä käytetään yleensä diskreettinä muuttujana siten, että mikäli juna kulkee hyväksytyn poikkeaman rajoissa, on se täsmällinen, muussa tapauksessa ei.

Kun täsmällisyyttä pidetään edellä mainitun kaltaisena diskreettinä muuttujana, voidaan junaliikenteen täsmällisyystaso laskea yksinkertaisesti täsmällisten junien prosenttiosuutena kaikista junista (Olsson & Haugland 2004). Tämä onkin Hansenin (2001) mukaan täsmällisyyden tyypillisin kuvaustapa: täsmällisyys ilmaistaan prosenttiosuutena niistä junista, jotka ohittavat, lähtevät tai saapuvat mittauspisteeseen määritellyn aikarajan sisällä ilmoitetusta aikataulusta. Myös Vromans et al. (2006) toteavat kyseessä olevan täsmällisyyden yleisin ilmaisemistapa, joskin he tarkastelevat vain saapuvia junia.

Albrecht et al. (2008) määrittelevät täsmällisyyden prosenttiosuudeksi junista, jotka saapuvat, ohittavat tai pysähtyvät tiettyyn paikkaan niin, että niillä on viivettä (*delay*) korkeintaan tietty minuuttimäärä. Milan (1996) puolestaan pitää täsmällisyyttä palvelun laadun aikaan sidottuna ominaisuutena, joka kuvaa ja mittaa poikkeamia suunnitellun ja toteutuneen saapumisajan välillä. Näitä poikkeamia Milan kuvaa viiveiksi (*delay*).

Yksittäisen junan täsmällisyyttä mitataan monella eri raja-arvolla. Käytössä ovat muun muassa 1, 3, 4, 5, 10 ja 15 minuutin poikkeamat aikataulusta. Yleisin raja-arvo maail-



malla on erityisesti kaukoliikenteen osalta 5 minuuttia. Eurooppalaisille mittareille on yhteistä se, että niissä ei oteta huomioon alle 3 minuutin myöhästymisiä, vaikka näiden osuus on suuri (Hansen 2001). Seuraavaksi on listattu muutama esimerkki täsmällisyyden mittaamisesta ja siihen liittyvistä asioista:

- Olssonin ja Hauglandin (2004) mukaan Norjassa täsmällisyyttä mitataan junien pääteasemilla ja joissain tapauksissa myös tärkeimmillä väliasemilla. Tämän lisäksi mitataan myös tiettyjen junatyyppeiden lähtötäsmällisyyttä. Oslon alueella kaikkien junien myöhästymismarginaali on 3 minuuttia, kun se muualla maassa on 5 minuuttia.
- Vromansin et al. (2006) mukaan Alankomaissa käytetään täsmällisyydessä kolmen minuutin marginaalia. Monissa muissa maissa käytössä on yleisimmin viiden minuutin marginaali. Saapumistäsmällisyyden lisäksi voidaan tarkastella täsmällisyyttä myös lähdössä. Tärkeää on myös se, millä asemilla täsmällisyyttä mitataan.
- Hansenin (2001) mukaan Alankomaissa rautatieliikenteen täsmällisyystavoitteiden tueksi on asetettu taloudellisia kannusteita. Liikenneministeriön ja Alankomaiden rautatieyhtiön yhteispäätöksellä on sovittu täsmällisyystason parantamisesta prosenttiyksiköllä vuosittain ja samalla sanktioiden ja asiakkaille suoritettavien takaisinmaksusäännösten käyttöönotosta suorituskyvyn ollessa puutteellinen.

Yleisesti käytössä oleva tapa mitata ja ilmaista täsmällisyyttä sisältää myös ongelmia, joita ovat muun muassa seuraavista syistä:

- Yleinen tapa esittää täsmällisyys prosenttiosuutena täsmällisistä junista määräasemalla on hyvin kompakti tapa kuvata täsmällisyyttä. Analyttisestä näkökulmasta tämä tapa kuitenkin kätkee paljon tietoa. Esimerkiksi täsmällisyys reitin varrella ei tule tällöin otetuksi huomioon, eikä menetelmä tee eroa pienten ja suurten viiveiden välillä. (Olsson & Haugland 2004)
- Täsmällisyyden mittaaminen tapahtuu useimmiten automaattisesti asemilla, mutta radassa olevat mittalaitteet voivat sijaita satojen metrien, jopa kilometrin päässä asemalaiturista. (Hansen 2001)

Liikenteen täsmällisyys siis esitetään yleensä täsmällisten junien prosenttiosuutena kaikista junista. Yksittäisen junan täsmällisyys määritetään tavallisesti junan määräasemalla, mutta se voidaan tehdä myös missä tahansa reitin pisteessä, esimerkiksi tärkeällä väliasemalla. Myös lähdön täsmällisyys voidaan mitata. Täsmällisyyskäsitteen heikkous on joka tapauksessa se, että sillä ei yleensä kuvata viiveen suuruutta, vaan kaikki hyväksyttävää maksimiarvoa suuremmat viiveet ovat samanarvoisia. Ennalta määritellystä aikataulusta poikkeavaa liikennettä sanotaan epätäsmälliseksi.

Edellä mainittujen määritelmien ja pohdintojen nojalla **täsmällisyys** määritellään tässä tutkimuksessa seuraavasti:

- *Täsmällisyys viittaa junan kykyyn liikennöidä ennalta ilmoitetun aikataulun mukaisesti. Täsmällisyys käsitetään yleensä diskreettinä muuttujana, joka kuvaa, alittaako juna aikataulupoikkeamille asetetut hyväksyttävät maksimiarvot. Jos juna liikennöi maksimiarvojen sisällä, se on täsmällinen, muussa tapauksessa ei. Junan täsmällisyys määritellään yleensä ennalta määritellyissä mittauspisteissä, kuten junan saapuessa tai lähtiessä asemalta.*

### 3.2 Viive (delay)

Täsmällisyys määritellään usein viiveen käsitteen avulla. Vromans (2005) määrittelee viiveen (*delay*) tapahtuman viivästymiseksi, esimerkiksi myöhästymiseksi lähdössä tai saapumisessa. Teoksessa *Railway timetable & traffic* (Albrecht et al. 2008) viive määritellään poikkeamaksi aikataulusta tai toimintoon varatusta ajasta. Samaisessa teoksessa on tähän perustuen tarkennettu erikseen myös saapumisviive (*arrival delay*), joka on erityisesti poikkeama aikataulunmukaisesta saapumisajasta asemilla.

Viive määritellään usein poikkeamana, myös Olsson ja Haugland (2004) määrittelevät viiveen keskeytymättömäksi negatiivisen aikataulupoikkeaman (myöhästymisen) mittaukseksi. Juna voi siis olla enemmän tai vähemmän viivästynyt ja viivettä mitataan ajan yksiköissä, useimmiten minuuteissa. Heidän mukaansa viiveet voidaan jakaa luokkiin muun muassa niiden vaikutusten perusteella. Näiden luokkien määritelmät vaihtelevat kuitenkin kirjallisuudessa paljon.

Mattsson (2007) nimittää kokonaisviiveeksi (*d*) todellisen ajoajan ja ideaalitulanteen ajoajan erotusta. Tämä kokonaisviive koostuu kahdesta erilaisesta viiveestä, ennakoitusta ja ennakoimattomasta. Näistä ennakoitu viive on huomioitu jo aikataulussa pelivarana ja sisältyy aikataulutettuun matka-aikaan. Nämä erilaiset viiveet eroavat myös siinä, että ennakoimattomien viiveiden negatiivinen arvo on korkeampi.

Edellä mainittujen määritelmien pohjalta *viive* määritellään tässä tutkimuksessa seuraavasti:

- *Viive on todellisen ajoajan ja aikataulunmukaisen ajoajan välinen ero. Viive on useimmiten positiivinen, eli juna on aikataulustaan jäljessä. Jos juna kulkee etuajassa, viive on negatiivinen. Viive on jatkuva muuttuja, eli kullakin ajanhetkellä sillä on tietty arvo. Viiveet ilmoitetaan aikayksiköissä, yleensä minuuteissa.*

### 3.3 Myöhästyminen

Viive voi realisoitua myöhästymisenä. Viive voidaan määritellä myöhästymiseksi silloin, kun se ennalta määrätyssä pisteessä ylittää ennalta määritellyn raja-arvon. Esimerkiksi yli kolmen minuutin viive asemalle saavuttaessa voidaan määritellä myöhästymiseksi. Myöhästymisellä on viivettä negatiivisempi sävy ja siihen liittyy usein seurauksia hyväksyttävän rajan ylittämisestä.

Englannin kielessä ei ole suoraa vastinetta termille myöhästyminen, vaan useimmiten sovelletaan *delay*- tai *late*-sanaa. Tässä tutkimuksessa *myöhästyminen* määritellään seuraavasti:

- *Positiivista viivettä – toisin sanoen negatiivista poikkeamaa aikatauluun – voidaan kutsua myöhästymiseksi. Kyseessä on viivettä konkreettisempi termi, jolla viitataan yleensä tapahtumaan, jossa juna saapuu tiettyyn pisteeseen, esimerkiksi asemalle, siten, että sen positiivinen viive kyseisessä pisteessä on hyväksyttävää arvoa suurempi.*



### 3.4 Primääriviive (primary delay, exogenous delay, original delay, initial delay)

Viiveet jaetaan usein kahteen ryhmään, primäärisiin ja sekundäärisiin viiveisiin. Vromans et al. (2006) kuvaavat primääriset viiveet alkuperäisiksi viiveiksi, jotka aiheutuvat junan ulkopuolisista tekijöistä, ei toisista junista. Primäärisen viiveen voivat aiheuttaa esimerkiksi kaluston vikaantuminen, rataverkon häiriöt, sääolosuhteet, matkustajien pitkittynyt vaunustapoistumis- tai vaunuunnousuaika, onnettomuudet tai tasoristeykset.

Yuanin ja Hansenin (2007) mukaan junien primääriviiveet (*primary delays*) voivat johtua teknisistä ongelmista, aikataulua hitaammasta ajonopeudesta, matkustajien pitkittyneestä vaunustapoistumis- tai vaunuunnousuajasta tai esimerkiksi huonoista sääoloista. Primääriviiveet rekisteröidään verkon sisääntulevissa rajapinnoissa tai sen sisällä, eivätkä ne saa johtua muista junista. Mikäli viiveet syntyvät verkon sisällä, voidaan niitä kutsua myös alkuperäisiksi viiveiksi (*original delays*). Yleensä primääriviiveiden totuudenmukainen jakauma voidaan määrittää tilastollisen analyysin keinoin olemassa olevasta empiirisestä datasta, joka voi olla esimerkiksi rataosuuksien varaus- ja vapautustietoja tai ajotietokoneen tallentamia tietoja. (Yuan & Hansen 2007)

Carey et al. (2000) puolestaan käyttää termiä primääriviive (*exogenous delay, initial delay*) viittaamaan niihin kymmeniin viivästymissyihin, joita päivittäin rautatieverkolla rekisteröidään. Näitä ovat muun muassa kaluston rikkoutuminen tai vajaatoiminta, vaihdevauriot, henkilökunnan myöhästyminen, radan ylläpitotyöt, esteet radalla ja viiveet matkustajien junaan nousemisessa tai sieltä poistumisessa. Carey (1999) määrittelee toisessa artikkelissaan, että primääriviiveet ovat aikataulusta riippumattomia, mutta voivat levitä verkolla ja aiheuttaa muille junille viivettä.

Samoja perusteita käyttävät myös Olsson ja Haugland (2004), joiden mukaan niin sanotut ulkosyntyiset viiveet (*exogenous delays*) aiheutuvat syistä, jotka Carey et al. (2000) luettelivat. Olsson ja Haugland (2004) erottavat kuitenkin tästä varsinaiset primääriset viiveet (*primary delay*), jotka aiheutuvat kun jokin tekijä vaikuttaa suoraan junaan. Ne eivät aiheudu toisten junien vaikutuksesta.

Teoksessa *Railway timetable & traffic* (Albrecht et al. 2008) määritellään primääriviive, josta käytetään termejä *initial delay, primary delay* sekä *original delay* viiveeksi, joka kirjataan kun juna saapuu verkolle (*initial/primary delay*) tai viiveeksi, joka aiheutuu rautatieverkosta, ei toisista junista (*original/primary delay*).

Mattssonin (2007) mukaan primäärinen viive – samoin kuin sekundäärinen viive – ovat viiveitä, joita ei ole otettu huomioon aikataulusuunnittelussa pelivarana. Ne ovat siis yllättäviä viiveitä. Primäärisen viiveen (*primary delay, exogenous delay*) Mattsson kuvaa johtuvan jostain liikennejärjestelmän ulkopuolisesta syystä, jolloin se on riippumaton kapasiteetin käyttöasteesta.

Primäärisen viiveen määritelmä perustuu syihin, jotka viiveen aiheuttavat. Edellä mainittujen määritelmien pohjalta **primääriviive** määritellään tässä tutkimuksessa seuraavasti:

- *Junan primääriviiveellä eli alkuperäisellä viiveellä tarkoitetaan viivettä, joka ei aiheudu muista junista. Primääriviiveet voivat johtua teknisistä ongelmista,*

*aikataulua hitaammasta ajonopeudesta, matkustajien pitkittyneestä vaunusta-poistumis- tai vaunuunnousuajasta tai esimerkiksi huonoista sääoloista. Primääriset viiveet ovat riippumattomia kapasiteetin käyttöasteesta. Primäärisistä viiveistä käytetään englanniksi termejä *primary delay*, *initial delay*, *original delay* ja *exogenous delay*.*

### 3.5 Sekundääriviive (secondary delay, consecutive delay, knock-on delay, reactionary delay)

Kuten primääriselle viiveelle, myös sekundäärille viiveelle löytyy kirjallisuudesta useita määritelmiä. Määritelmässä on paljon yhtäläisyyksiä; sekundääriset viiveet määritellään yleisesti muusta liikenteestä riippuvaisiksi. Kirjallisuudessa on tällaisista viiveistä käytetty useita erilaisia termejä.

Albrecht et al. (2008) toteavat teoksessa *Railway timetable & traffic*, että sekundäärisestä viiveestä käytetään englanninkielisiä termejä *consecutive delay*, *knock-on delay* sekä *secondary delay* ja näillä kaikilla tarkoitetaan viivettä, jonka aiheuttavat muut junat joko lyhyiden vuorovälien tai myöhässä olevien vaihtoyhteyksien johdosta.

Yuan ja Hansen (2007) toteavat, että kun juna viivästyy, se voi estää muiden junien aikataulunmukaisen liikenteen varaamalla niiltä tietyn rataosuuden tai solmukohdan. Tällaisia muille junille aiheutuvia viiveitä kutsutaan ketjuuntuneiksi tai sekundäärisiksi viiveiksi (*knock-on delays* tai *consecutive delays*). Niiden vähäinen esiintyminen heijastaa toisaalta aikataulun häiriösietoisuutta ja toisaalta junaliikennöinnin vakautta. Usein viiveiden ketjuuntuminen tapahtuu asemille saapumisen ja sieltä lähtemisen yhteydessä. Tämä johtuu siitä, että risteävät ja yhdistyvät raiteet sekä laiturit muodostavat yleensä tiheästi liikennöidyn rautatieverkon pullonkaulat.

Carey (1999) määrittelee sekundääriset viiveet (*knock-on delays*) primääristen viiveiden vastakohdaksi sekä viiveiksi, jotka aiheutuvat primäärisistä viiveistä. Sekundääristen viiveiden taustalla on myös liikenteen riippuvuus aikataulusta. Sekä primääriset että sekundääriset viiveet voivat ketjuuntua verkolla, eli aiheuttaa muille junille viiveitä.

Olsson ja Haugland (2004) määrittelevät samoin sekundääriset viiveet viiveinä, jotka syntyvät primääristen viiveiden vaikutuksesta. Norjassa sekundäärisellä viiveellä tarkoitetaan viiveitä, jonka aiheuttavat toiset viivästyneet junat. Myös Mattssonin (2007) mukaan sekundääriset viiveet (*secondary tai reactionary delays*) ovat primäärisistä viiveistä aiheutuvia viiveitä.

Gibson et al. (2002) määrittelevät sekundääriset viiveet (*reactionary delays*) viiveiksi, jonka yksi operaattori aiheuttaa toiselle operaattorille. Tämä määritelmä ei ole ehkä ihan yhtenäinen muiden sekundääristen viiveiden määritelmien kanssa, mutta selkeästi kuvaa samaa ilmiötä, jossa viiveet leviävät verkolla.

Vromans et al. (2006) määrittelevät sekundääristen viiveiden aiheutuvan muiden junien aiemmista viiveistä. Sekundääristen viiveiden syynä he näkevät muun muassa rajallisen, jaetun infrastruktuurin, kalustoyhteydet sekä henkilöstön ja matkustajien vaihtoyhteydet.



Kirjallisuudessa näyttää olevan kaksi eri näkökulmaa viiveiden leviämiseen verkolla. Puhutaan toisten junien aiheuttamista sekundäärisistä viiveistä tai ketjuuntuneista viiveistä. Muun muassa Gouweloos ja Bartholomeus (2007) käyttävät termiä *cascade effect* puhuessaan viiveiden ketjuuntumisesta. Kirjallisuudessa esiintyy lisäksi termi *cascading delay*, jolla myös tarkoitetaan ketjuuntuvaa eli sekundääristä viivettä.

Sekundääriset viiveet aiheutuvat kirjallisuuden mukaan muista junista ja niiden viiveistä. Kapasiteetin käyttöaste, aikataulurakenne ja verkon infrastruktuurin pullonkaulat vaikuttavat sekundääristen viiveiden leviämiseen verkolla.

Edellä mainittujen määritelmien pohjalta *sekundääri viive* määritellään tässä tutkimuksessa seuraavasti:

- *Yhden junan viivästyminen voi estää myös muiden junien aikataulunmukaisen liikenteen varaamalla niiltä tietyn rataosuuden, laiturin tai solmukohdan. Myös esimerkiksi vaihtoyhteyksien säilyttäminen voi johtaa alkuperäisen junan viivästyksen lisäksi myös muiden junien myöhästymiseen. Tällaisia muille junille aiheutuvia viiveitä kutsutaan sekundäärisiksi tai ketjuuntuneiksi viiveiksi, ja ilmiötä tässä kirjallisuuskatsauksessa yleisesti viiveiden ketjuuntumiseksi.*

### 3.6 Luotettavuus (reliability)

Luotettavuuden ja täsmällisyyden käsitteet ovat toisilleen hyvin läheisiä ja usein niitä käytetään kirjallisuudessa ristiin. Esimerkiksi Bates et al. (2001) kuvaavat harhauttavasti Britannian rautateiden matkustajaliikenteessä rautatieoperaattorin käyttämää määritelmää luotettavuudelle (*reliability*) seuraavasti: Kulkiessaan juna saapuu määränpääasemalleen aikataulun mukaisesti tai määritetyn aikamarginaalin sisällä. Tässä yhteydessä täsmällisyys kuvaa puolestaan sitä saapuuko juna asemalle vai ei.

Kyseessä eivät kuitenkaan ole synonyymit. Nolandin ja Polakin (2002) mukaan luotettavuuden ja täsmällisyyden erona voidaan nähdä esimerkiksi tilanne, jossa juna saapuu asemalle saman verran myöhässä joka päivä. Tällöin junan täsmällisyys on heikko, mutta luotettavuus ei kärsi todellisen saapumisajan vaihteluiden ollessa pieniä. Tämä ero perustuu osin määritelmään, jonka mukaan luotettavuus liittyy matka-ajan vaihteluun. Noland ja Polak käyttävät matka-ajan vaihtelua matkustusaikojen epävarmuuden (*uncertainty*) mittarina. Rautatieliikenteessä epävarmuus tai epäluotettavuus tarkoittaa viiveitä, junavuorojen peruutuksia ja junien etuajassa lähtöjä.

Batesin et al. (2001) mukaan julkisessa liikenteessä luotettavuus voi kuvata montaa asiaa, kuten esimerkiksi istumapaikan saamista ruuhkaisessa junassa, mutta useimmiten luotettavuudella (*reliability*) kuvataan kuitenkin kulkuvälineen kykyä saapua ajoissa määränpäähän tai epävarmuutta joka liittyy ajoissa pysymiseen. Matkustajan näkökulmasta luotettavuus liittyy matka-ajan tilastolliseen vaihteluun.

Milan (1996) toteaa liikennepalveluiden luotettavuuden olevan yksi merkittävimmistä aikaperusteisista palvelun laadun ominaisuuksista. Luotettavuutta heikentävät samat tekijät, jotka vaikuttavat täsmällisyyteenkin. Näiden lisäksi myös junavuorojen peruutukset heikentävät liikenteen luotettavuutta.



Rietveld et al. (2001) luettelevat erilaisia luotettavuuden ja täsmällisyyden mittareita. Sen perusteella on pääteltävissä, että kirjoittajat käsittelevät luotettavuutta lähinnä synonyyminä täsmällisyydelle.

Teoksessa *Railway timetable & traffic* Albrecht et al. (2008) ovat kuvanneet luotettavuutta (*reliability*) järjestelmän tai sen osan kyvyksi suoriutua suunnitellusti vaadituista tehtävistä. Mukulan (2008) mukaan rautatieliikenteessä tämä tarkoittaa rautatieyrityksen kykyä kuljettaa matkustajia tai tavaroita aikataulunmukaisesti.

Vromans et al. (2006) kuvaavat luotettavuuden (*reliability*) mittareina toimivan keskimääräiset viiveet ja havaittu täsmällisyys. Kirjoittajat huomauttavat, että luotettavuus voitaisiin määritellä myös prosenttiosuutena onnistuneista matkustajien vaihtoyhteyksistä ja keskimääräisenä matkustajien viiveenä.

Luotettavuus kuvaa kirjallisuuden mukaan matka-ajan vaihtelua. Toisaalta luotettavuudella viitataan viiveen todennäköisyyteen. Viiveen todennäköisyyden lisäksi luotettavuus pyrkii kuvaamaan viiveen suuruutta. Viiveen lisäksi luotettavuuden avulla voidaan esittää myös todennäköisyys sille, että juna lähtee aikataulua edellä.

Edellä mainittujen määritelmien pohjalta **luotettavuus** määritellään tässä tutkimuksessa seuraavasti:

- *Luotettavuudella kuvataan junan kykyä saapua ajoissa määränpäähän tai epävarmuutta joka liittyy ajoissa pysymiseen. Matkustajan näkökulmasta luotettavuus liittyy läheisesti matka-ajan tilastolliseen vaihteluun. Luotettavuuden ja täsmällisyyden käsitteet ovat toisilleen hyvin läheisiä.*

### 3.7 Häiriösietoisuus (robustness)

Rautatieliikennettä ja aikatauluja käsittelevässä kirjassa *Railway timetable & traffic* Albrecht et al. (2008) määrittelevät häiriösietoisuuden järjestelmän tai sen osan kyvyksi sietää virheitä, parametrien muutoksia tai operoinnin olosuhteiden muutoksia. Mukula (2008) on suomentanut *robustness*-termin vakaudeksi, mutta määrittelee sen samoin kuin Albrecht et al. (2008).

Vromans (2005) määrittelee häiriösietoisuuden (*robustness*) kuvaavan häiriöiden vaikuttavuutta rautatiejärjestelmään. Häiriöitä sietävä rautatiejärjestelmä voi toimia hyvin myös vaikeissa olosuhteissa, kun taas häiriöherkässä järjestelmässä ulkopuoliset häiriöt aiheuttavat suuria viiveitä, jotka leviävät nopeasti ja laajalle alueelle.

Salido et al. (2008) määrittelevät rautatieaikataulun häiriösietoisuuden ennakoivaksi mittariksi siitä, kuinka hyvin aikataulu pystyy selviytymään sekä sisäisistä että ulkoisista yllättävistä häiriöistä ja palautuu normaaliin tilaan. Kirjoittajien mukaan häiriösietoisuus siis viittaa aikataulun kykyyn sietää epätarkkuutta (*imprecision*). Yhtälailla häiriösietoisuus tarkoittaa vaihtoehdon kykyä säilyttää laadukkuutensa tai kykyä selviytyä odottamattomista ongelmista ilman merkittäviä muutoksia.

Ciccerone et al. (2008) ovat pohtineet häiriösietoisuutta seuraavasti: häiriösietoinen aikataulu tarkoittaa aikataulua, joka pystyy absorboimaan eli hävittämään pieniä viiveitä käyttämällä tarvittaessa olemassa olevia elpymiskeinoja (*recovery capabilities*). Häiriösietoisuuden hinta (*price of robustness*) on häiriösietoisen ja ei-häiriösietoisen optimaalisen aikataulun hintojen suhde, joka kertoo häiriösietoisen aikataulun laadukkuudesta.

**Aikataulujen häiriöidensietokykyä** voidaan kuvata junien kokonaisodotusajalla, joka voidaan määritellä esimerkiksi heuristisesti, hyödyntäen jono- ja simulointimalleja. Kokonaisodotusajan voidaan ajatella edustavan haluttua toiminnan laatutasoa. (Schwanhaüßer 1974, 1994, Wakob 1985, Hansen 2000, 2004; julkaisussa Yuan & Hansen 2007)

Yhteistä kirjallisuudessa esiintyville määritelmille häiriösietoisuudesta on sen, että ne viittaavat järjestelmän tai aikataulun kykyyn selviytyä häiriöistä ja minimoida viiveet ja niiden leviäminen.

Edellä mainittujen määritelmien pohjalta **häiriösietoisuus** määritellään tässä tutkimuksessa seuraavasti:

- *Liikennejärjestelmän häiriösietoisuudella (robustness) määritellään, kuinka hyvin se kokonaisuutena sietää erilaisia poikkeamia, kuten viiveitä. Häiriöitä sietävässä järjestelmässä etenkin pienten häiriöiden vaikutus absorboituu eli häviää siten, etteivät ne vaikuta muun järjestelmän toimintaan. Esimerkiksi aikataulusuunnittelussa häiriösietoisuutta voidaan lisätä pelivaralla (puskuri-ajalla), jolloin pienet poikkeamat aikataulusta eivät vaikuta muiden junien liikennöintiin.*

### 3.8 Muut käsitteet

Seuraavaksi on tarkasteltu kirjallisuudessa esiintyneitä käsitteitä, jotka liittyvät täsmällisyysteemaan, mutta eivät ole yhtä keskeisiä kuin edellä esitetyt käsitteet. Alla olevia käsitteitä on tarkasteltu kirjallisuudesta poimittujen viitteiden kautta, eivätkä määritelmät ole yleispäteviä tai kattavia.

**Ratakapasiteetin käyttöasteen (railway capacity utilization)** määrittäminen tapahtuu yleensä siten, että käytössä olevaa aikataulua verrataan teoreettiseen aikatauluun, jossa rataverkko on täydessä käytössä ilman pelivaroja. Näin määritellen suositellut maksimaaliset verkon käyttöasteet ovat UIC:n mukaan sekaliikenneverkolle ruuhka-aikana 75 %, koko päivän keskiarvon ollessa 60 %. (Yuan & Hansen 2007)

**Viiveiden hallinta (delay management)** on viiveiden kokonaisuuden hallintaa, jossa otetaan huomioon koko järjestelmälle aiheutuvat viiveet ja pyritään minimoimaan kokonaisvaikutukset. Viiveiden hallinta pitää sisällään muun muassa niitä toimenpiteitä ja päätöksiä, joiden avulla ratkaistaan kapasiteetin käyttöjärjestys ja vaihtoyhteyksien säilyttäminen häiriötilanteessa.



Gatton et al. (2007) mukaan viiveiden hallinta sisältää päätöksenteon siitä, mitkä vaihtoyhteydet odottavat myöhässä saapuvaa syöttöliikennettä. Useimmiten päätöksenteon perusteena on minimoida kokonaishaitta, joka kaikille matkustajille aiheutuisi. Ginkel ja Schöbel (2007) kutsuvat viiveiden hallinnaksi (*delay management*) samoin perustein toimintaa, jossa päätetään pitäisikö liityntäliikenteen bussin odottaa myöhässä saapuvaa junaa, vai ei?

**Säännöllisyys (*regularity*)** on mittari, joka ilmaisee todellisten lähtöjen tai saapumisien määrää suhteessa aikataulun mukaisiin lähtöihin tai saapumisiin. Joskus säännöllisyyttä ja täsmällisyyttä mitataan yhdistettynä indeksinä. (Olsson & Haugland 2004)

Milan (1996) määrittelee säännöllisyyden (*regularity*) aikataulun mukaisesti saapuneiden junien lukumäärän ja kaikkien saapuneiden junien lukumäärän suhteena. Tämän määritelmän mukaan säännöllisyys kuvaa ainoastaan poikkeamien lukumäärää, ei niiden suuruutta, eli kestoja. Tämä määritelmä on hyvin lähellä yleisesti käytössä olevaa täsmällisyyden määritelmää.

**Vakaus (*stability*)** on järjestelmän tai sen osan kyky tasapainottaa viiveitä ja palata takaisin haluttuun tilaan (Albrecht et al. 2008). Delorme et al. (2009) määrittelevät aikataulun vakauden kyvyksi vaimentaa viiveitä. Samaa termiä (*stability*) kuvaa myös Mukula (2008), joka on suomentanut sen termillä tasapainoisuus. Käsitteen määritelmä on kuitenkin yhtäläinen edellä esitettyjen kanssa: tasapainoisuus on järjestelmän kyky palautua normaaliin tilaan häiriön jälkeen.

Vromans (2005) toteaa vakauden tarkoittavan perinteisesti tekniikassa sitä, että järjestelmä pystyy vakaana ollessaan toimimaan suunnitellusti sille varatussa ajassa. Rautatieliikenteessä tämä on tulkittu laajemmin; sillä viitataan myös järjestelmän kykyyn palautua normaaliin tilaan. Vakaudella tarkoitetaan Vromansin (2005) mukaan aikaa ja vaivaa, joka tarvitaan toimintojen palauttamiseen normaalitilaan häiriöiden jälkeen. Vakaassa ympäristössä järjestelmä palautuu normaalitilaan nopeasti, epävakaassa tilanteessa liikenne on epäsäännöllistä pidempään. Kuten huomataan, on vakauden käsite hyvin lähellä häiriösietoisuutta (*robustness*).

**Pelivara (*buffer time, running time supplemets*)** on aikataulussa huomioon otettu viive tai kuten Mukula (2008) sen määrittelee: teoreettiseen ajoaikaan lisättävä aika, jolla varaudutaan mahdollisiin häiriöihin. Rautatieliikenteessä termi *buffer time* ymmärretään pelivarana, mutta yleisimmin siitä käytetään suomenkielistä termiä puskuriaika.



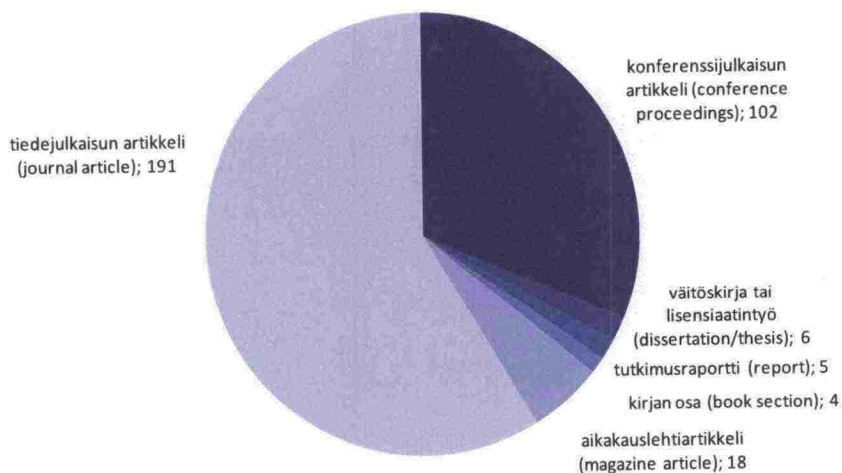
## 4 TÄSMÄLLISYYSTUTKIMUKSEN NYKYTILA: TUTKIMUSTEEMAT, TEKIJÄT JA JULKAISUKANAVAT

### 4.1 Kirjallisuuskatsauksen aineisto

Rautatieliikenteen täsmällisyystutkimuksen nykytilan kuvaus perustuu kirjallisuuskatsauksessa kootun aineiston jäsentelyyn, hyödyntäen soveltuvien osin bibliometristä analyysia.

Kirjallisuuskatsauksen aineisto muodostuu 326 julkaisusta, joiden viitetiedot on tallennettu RefWorks-viitteidenhallintaohjelmaan. Julkaisut jakautuvat eri tyyppisiin seuraavasti (kuva 4.1):

- 191 tiedejulkaisujen artikkeleita; julkaisun tyyppi *academic/scholarly journal* (Ulrichsweb.com 2009), viitteen tyyppi RefWorksissä *journal article*
- 102 konferenssijulkaisujen artikkeleita; viitteen tyyppi RefWorksissä *conference proceedings*
- 18 aikakauslehtiartikkeli; julkaisun tyyppi *magazine tai trade journal* (Ulrichsweb.com 2009), viitteen tyyppi RefWorksissä *magazine article*
- 6 väitöskirjaa tai lisensiaatintyötä, viitteen tyyppi RefWorksissä *dissertation/thesis*
- 4 kirjan osaa, viitteen tyyppi RefWorksissä *book section*
- 5 tutkimusraporttia, viitteen tyyppi RefWorksissä *report*.

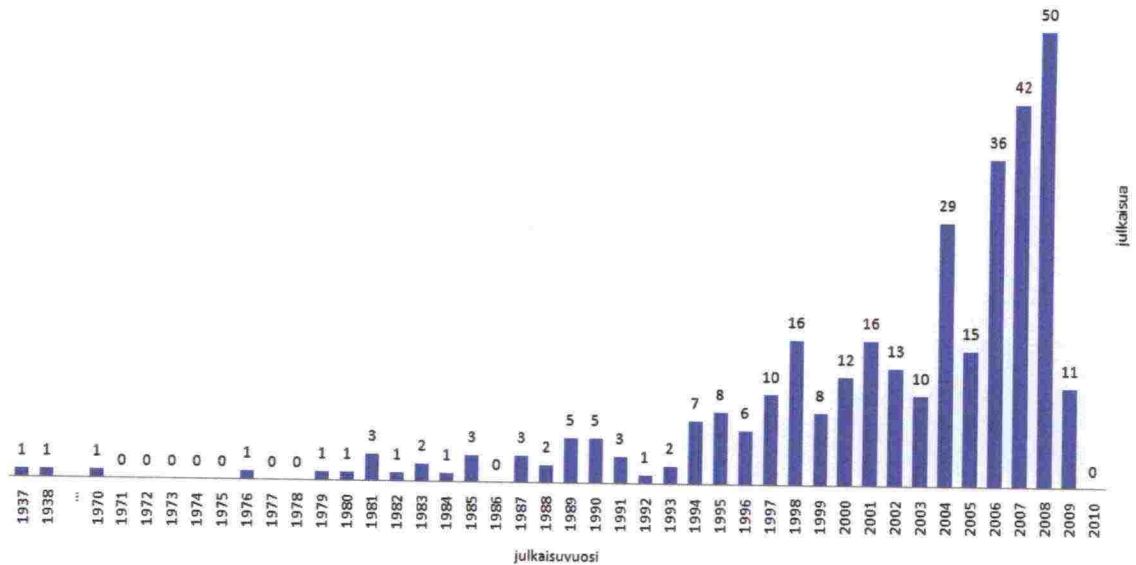


Kuva 4.1 Kirjallisuuskatsaukseen sisältyvien julkaisujen tyypit.

Aineiston analysointi on tehty käytettävissä olleen aineiston perusteella. 149 julkaisusta on ollut käytettävissä kokoteksti, 169:stä tiivistelmä ja kahdeksasta pelkät julkaisutiedot. Aineiston laajuudesta ja tutkimuksen tavoitteesta – täsmällisyystutkimuksen nykytilan hahmottamisesta – johtuen kokotekstejä ei ole pyritty systemaattisesti hankkimaan. Tutkimuksen ja julkaisujen painopistealueet, lähestymistavat ja menetelmät on monessa tapauksessa voitu selvittää tiivistelmän perusteella.

Keskeisiksi arvioidut julkaisut on luettu ja analysoitu tarkemmin. Analysointia voidaan tarpeen mukaan tarkentaa ja suunnata uudelleen jatkotutkimuksen yhteydessä.

Julkaisut painottuvat viime vuosiin. Kirjallisuuskatsauksen aineistosta on julkaistu 2000-luvulla 72 prosenttia ja viiden viime vuoden aikana 47 prosenttia. 1990-luvulla ilmestyneiden julkaisujen osuus on 20 prosenttia, 1980-luvulla 6 prosenttia ja 1970-luvulla 1 prosentti. Tätä vanhempia julkaisuja on vain kaksi (0,6 %). Julkaisuvuodet on esitetty kuvassa 4.2.



Kuva 4.2 Kirjallisuuskatsauksen julkaisujen (326 kpl) julkaisuvuodet.

Julkaisujen ajallista jakaumaa selittänee ainakin se, että viime vuosina alan tutkimusta on tehty ja julkaistu erityisesti Alankomaissa melko paljon. Tieteellisessä toiminnassa artikkelien kirjoittaminen ja konferensseissa esiintyminen ovat liikennealalla myös korostuneet vasta viime vuosina. Lisäksi julkaisutietokantoihin sisältyvät kattavimmin uudet, 1990–2000-luvun julkaisut, mutta se ei tosin yksin selitä aikajakaumaa.

#### 4.2 Teemat ja osuvuus

Kirjallisuuskatsauksen julkaisut on luokiteltu niiden teemojen, osuvuuden ja laadun perusteella. Luokittelu on toteutettu seuraavasti:

##### Teema

- Teemat on muodostettu tämän työn yhteydessä julkaisujen sisällön perusteella palvelemaan tämän tutkimuksen tavoitteita, eivätkä ne perustu suoraan mihinkään aikaisemmin tehtyihin luokitteluihin.
- Julkaisut on luokiteltu teemoihin, jotka on ryhmitelty teemaryhmiksi. Teemoja on yhteensä 27, ja ne muodostavat viisi teemaryhmää (taulukko 4.1).
- Kukin julkaisu voi käsitellä useampaa teemaa.
- Julkaisun keskeisimmät teemat on merkitty ydinteemoiksi. Joka julkaisussa ei välttämättä ole ydinteemaa.

##### Osuvuus

- Osuvuus kuvaa sitä, miten paljon julkaisu liittyy täsmällisyystutkimukseen ja mikä sen merkitys on täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta.

- *Täysosuma*: Julkaisu käsittelee pääasiassa täsmällisyyttä, ja täsmällisyys on keskeisessä roolissa tutkimusasetelmassa tai tutkimustuloksissa.
- *Merkittävä osuma*: Täsmällisyys on merkittävässä roolissa julkaisun tutkimusasetelmassa tai tutkimustuloksissa, mutta julkaisussa käsitellään myös muita teemoja.
- *Sivuosuma*: Julkaisussa sivutaan täsmällisyyttä, mutta se ei ole pääteemana tutkimusasetelmassa eikä tutkimustuloksissa.
- Osuvuuden näkökulmasta kirjallisuuskatsauksen julkaisut jakautuvat seuraavasti: 93 täysosumaa, 107 merkittävää osumaa ja 126 sivuosumaa.

#### Laatu

- Julkaisun yleisen laatutason arviointi perustuu tässä yhteydessä julkaisun tyyppiin.
- *Laadukas*: tiedejulkaisujen (journal) artikkelit.
- *Normaali*: konferenssijulkaisujen artikkelit, aikakauslehtiartikkelit, väitöskirjat, kirjan osat ja tutkimusraportit.

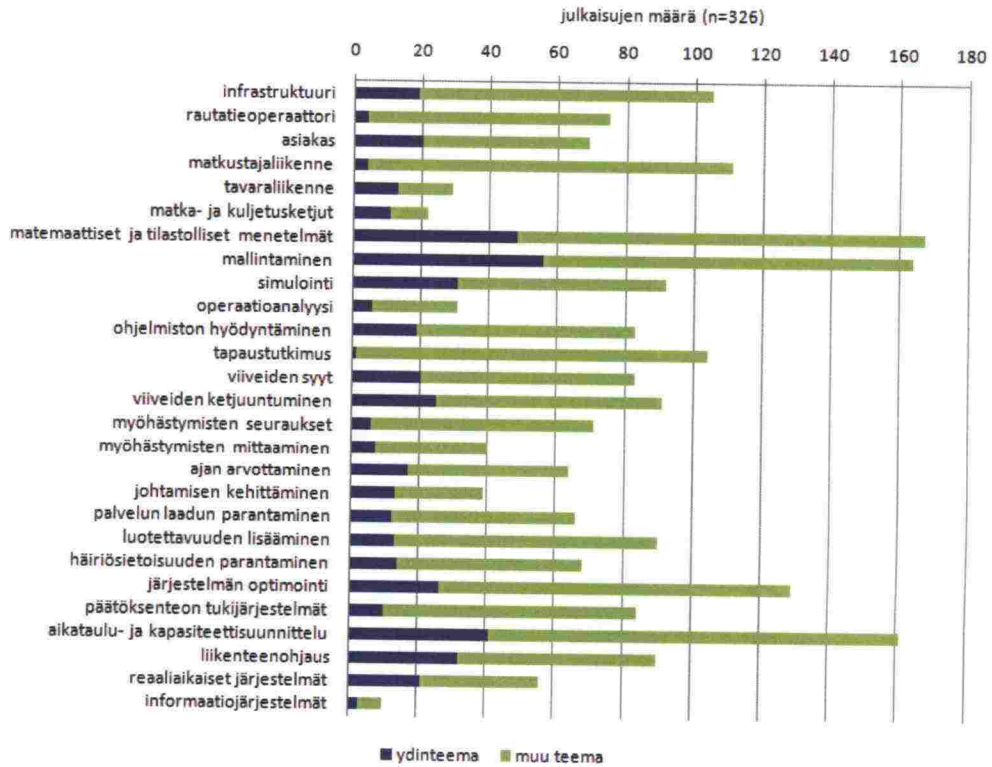
*Taulukko 4.1 Julkaisujen luokittelu ja ryhmittely teemoihin ja teemaryhmiin.*

Teemaryhmä	Teema
liikennejärjestelmän osa	infrasrakuuri
	rautatieoperaattori
	asiakas
	matkustajaliikenne
	tavaraliikenne
	matka- ja kuljetusketjut
tarkastelumenetelmä	matemaattiset ja tilastolliset menetelmät
	mallintaminen
	simulointi
	operaatioanalyysi
	ohjelmiston hyödyntäminen
	tapaustutkimus
näkökulma viiveisiin ja myöhästymisiin	viiveiden syyt
	viiveiden ketjuuntuminen
	myöhästymisten seuraukset
	myöhästymisten mittaaminen
	ajan arvottaminen
kehitystavoite	johtamisen kehittäminen
	palvelun laadun parantaminen
	luotettavuuden lisääminen
	häiriösietoisuuden parantaminen
	järjestelmän optimointi
kehitettävä järjestelmä	päätöksenteon tukijärjestelmät
	aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelu
	liikenteenohjaus
	reaaliaikaiset järjestelmät
	informaatiojärjestelmät

Taulukossa 4.1 esitetyn luokittelun perusteella kirjallisuuskatsauksessa käsiteltävät julkaisut on luokiteltu teemoittain. Luokittelu on esitetty kuvassa 4.3. Matemaattiset ja tilastolliset menetelmät ja mallintaminen hallitsevat täsmällisyystutkimuksen tutkimusmenetelminä ja aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelu kehitettävänä järjestelmänä. Noin puolessa julkaisuista on käsitelty teemoja matemaattiset ja tilastolliset menetelmät



(167 osumaa), mallintaminen (164 osumaa) sekä aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelu (161 osumaa). Kehitystavoitteista korostuu yleisluonteinen teema järjestelmän optimointi, joka on teemana 129 julkaisussa, 40 prosentissa julkaisuista. Ydinteemoina on käsitelty pääosin samoja teemoja: mallintamista (56 osumaa), matemaattisia ja tilastollisia menetelmiä (48 osumaa) ja aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelua (41 osumaa), mutta myös liikenteenohjausta (32 osumaa) ja simulointia (31 osumaa), jotka usein liittyvät läheisesti kolmeen edellä mainittuun teemaan.



Kuva 4.3 Kirjallisuuskatsauksen aineisto luokiteltuna teemoittain.

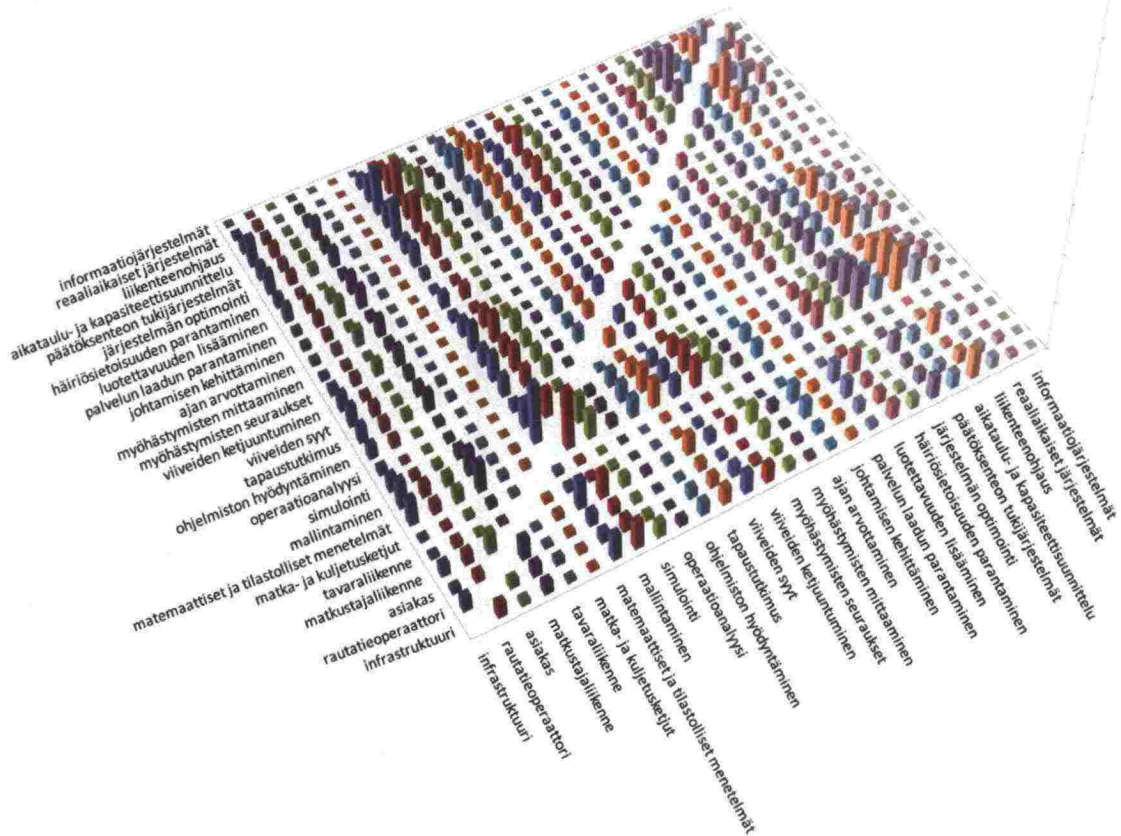
Tavaraliikenteen sekä matka- ja kuljetusketjujen täsmällisyyteen keskittyviä julkaisuja on vähän. Tavaraliikenne on teemana 29 julkaisussa, joista 13:ssa ydinteemana. Välillisesti tavaraliikenne on toki mukana useammassa julkaisussa. Matkustajaliikennettä käsitellään selvästi enemmän, mutta ydinteemana se on vain neljässä julkaisussa. Matka- ja kuljetusketjuja on tarkasteltu 21 julkaisussa.

Teemoja käsittelevien julkaisujen lukumäärän ja ydinteemojen määrän suhde vaihtelee. Jostain teemasta voi olla paljon kirjallisuutta, mutta ydinteemanaan tätä aihetta käsitteleviä julkaisuja vain vähän. Esimerkiksi ydinteemana esiintyvät suhteellisesti vähiten tapaustutkimus (1 %), matkustajaliikenne (4 %) ja rautatieoperaattori (5 %).

Teemaryhmässä näkökulma viiveisiin ja myöhästymisiin on käsitelty vähiten myöhästymisten mittaamista (40 osumaa). Kehitettävä järjestelmä -teemaryhmässä selvästi vähiten osumia, vain 10, tuli teemaan informaatiojärjestelmät.

Samassa julkaisussa käsiteltyjen teemojen väliset yhteydet on esitetty kuvassa 4.4. Useimmin samoissa julkaisuissa käsiteltyjä teemapareja ovat

- matemaattiset ja tilastolliset menetelmät – mallintaminen (124 julkaisua)
- matemaattiset ja tilastolliset menetelmät – aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelu (98 julkaisua)
- mallintaminen – aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelu (96 julkaisua)
- järjestelmän optimointi – aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelu (92 julkaisua).



Kuva 4.4 Samoissa julkaisuissa käsiteltyjen teemojen väliset yhteydet kirjallisuuskatsauksen aineistossa. Teemojen leikkauskohdassa oleva pylväs kuvaa niiden julkaisujen määrää, joissa on käsitelty näitä kahta teemaa.

Suhteellisesti eniten samoissa julkaisuissa on tarkasteltu seuraavia teemoja:

- 82 prosenttia reaaliaikaisia järjestelmiä käsittelevistä julkaisuista käsittelee myös liikenteenohjausta. Toisaalta liikenteenohjaus-teeman julkaisuista 51 prosenttia liittyy reaaliaikaisiin järjestelmiin.
- 76 prosenttia mallintaminen-teeman julkaisuista liittyy matemaattisiin ja tilastollisiin menetelmiin ja 74 prosenttia teeman matemaattiset ja tilastolliset menetelmät julkaisuista liittyy mallintamiseen.
- Operaatioanalyysi-teeman julkaisuista 74 prosenttia käsittelee myös aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelua ja 71 prosenttia järjestelmän optimointia.
- 73 prosenttia teeman ohjelmiston hyödyntäminen julkaisuista liittyy aikataulu- ja kapasiteettisuunnitteluun.

Eri teemoja ja niiden välisiä yhteyksiä ja riippuvuuksia on käsitelty tarkemmin luvuissa 5–9.



### 4.3 Maat, organisaatiot ja tekijät

#### 4.3.1 Maat ja organisaatiot

Kirjallisuuskatsaukseen sisältyy julkaisuja 217 organisaatiosta 34 maasta (taulukko 4.2). Alankomaalaisten organisaatioiden kirjoittajia on 69 julkaisussa, brittiläisiä 45 julkaisussa ja yhdysvaltalaisia 33 julkaisussa. Yli kymmenen julkaisun maita ovat myös Saksa, Kiina, Italia, Japani, Ruotsi, Australia ja Ranska.

*Taulukko 4.2 Julkaisujen tekijöiden organisaatioiden sijaintimaat kirjallisuuskatsauksen aineistossa.*

Sija	Maa	Viitteitä	Osuus	Sija	Maa	Viitteitä	Osuus
1	Alankomaat	69	19 %	18	Intia	3	1 %
2	Britannia	45	12 %	19	Kreikka	3	1 %
3	Yhdysvallat	33	9 %	20	Turkki	3	1 %
4	Saksa	28	8 %	21	Kanada	2	1 %
5	Kiina	25	7 %	22	Puola	2	1 %
6	Italia	20	5 %	23	Slovenia	2	1 %
7	Japani	18	5 %	24	Argentiina	1	0 %
8	Ruotsi	15	4 %	25	Iran	1	0 %
9	Australia	11	3 %	26	Israel	1	0 %
10	Ranska	11	3 %	27	Itävalta	1	0 %
11	Espanja	9	2 %	28	Jugoslavia	1	0 %
12	Belgia	8	2 %	29	Korea	1	0 %
13	Sveitsi	8	2 %	30	Singapore	1	0 %
14	Hongkong	7	2 %	31	Sri Lanka	1	0 %
15	Taiwan	6	2 %	32	Suomi	1	0 %
16	Norja	5	1 %	33	Tšekki	1	0 %
17	Tanska	4	1 %	34	Uusi-Seelanti	1	0 %
				maat yhteensä			
				348			
				ei maatietoa			
				18			
				yhteensä (n=326)			
				366			
				100 %			

Julkaisuissa on vahva Eurooppa-painotus: 2/3 julkaisuista on kirjoitettu Euroopassa. 20 prosenttia julkaisuista on Aasiasta, 10 prosenttia Amerikasta ja 3 prosenttia Oseaniasta. Kirjallisuuskatsaukseen ei sisälly lainkaan afrikkalaisia julkaisuja.

Rautateiden täsmällisyystutkimusta eniten julkaiseva organisaatio kirjallisuuskatsauksen perusteella on Delftin teknillinen yliopisto (TU Delft, Delft University of Technology) Alankomaissa. Sen tutkijat ovat olleet kirjoittajina 41 julkaisussa, mikä vastaa yhdeksää prosenttia kaikista organisaatioviittauksista. 20 eniten julkaiseen organisaation luettelossa on muun muassa viisi alankomaalaista, kolme brittiläistä, kaksi kiinalaista ja kaksi saksalaista organisaatiota (taulukko 4.3).

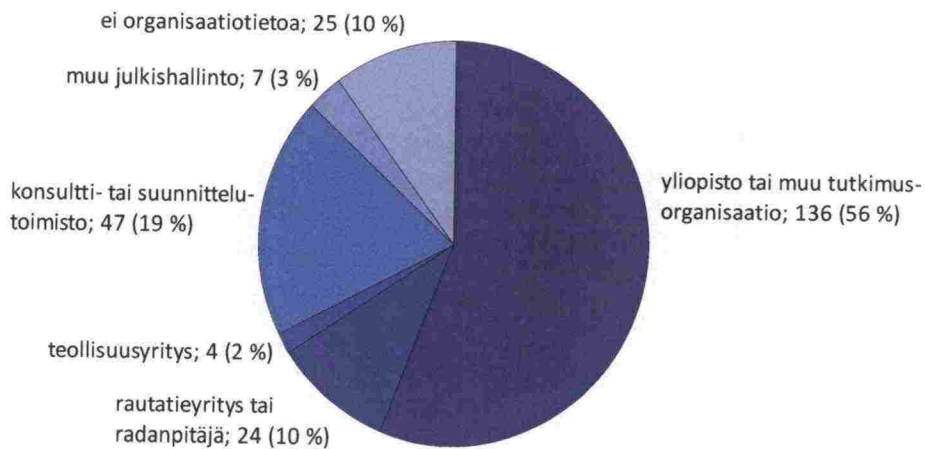
Taulukko 4.3 Julkaisujen tekijöiden organisaatiot kirjallisuuskatsauksen aineistossa.

Sija	Organisaatio	Maa	Viitteitä	Osuus
1	Delft University of Technology	Alankomaat	41	9 %
2	ProRail	Alankomaat	10	2 %
3	University of Ulster	Britannia	10	2 %
4	Erasmus University Rotterdam	Alankomaat	9	2 %
5	NS (Netherlands Railways)	Alankomaat	9	2 %
6	University of Birmingham	Britannia	9	2 %
7	Queensland University of Technology	Australia	9	2 %
8	ETH Zurich	Sveitsi	7	2 %
9	KTH Royal Institute of Technology	Ruotsi	7	2 %
10	Southwest Jiaotong University	Kiina	7	2 %
11	Beijing Jiaotong University	Kiina	5	1 %
12	Hong Kong Polytechnic University	Hongkong	5	1 %
13	Dresden University of Technology	Saksa	4	1 %
14	Hitachi	Japani	4	1 %
15	Imperial College London	Britannia	4	1 %
16	Katholieke Universiteit Leuven	Belgia	4	1 %
17	RWTH Aachen University	Saksa	4	1 %
18	Università di Siena	Italia	4	1 %
19	University of Pennsylvania	Yhdysvallat	4	1 %
20	Vrije Universiteit Amsterdam	Alankomaat	4	1 %
top 20 yhteensä			160	36 %
muut 198 organisaatiota			260	58 %
ei organisaatietietoa			25	6 %
yhteensä (n=326)			445	100 %

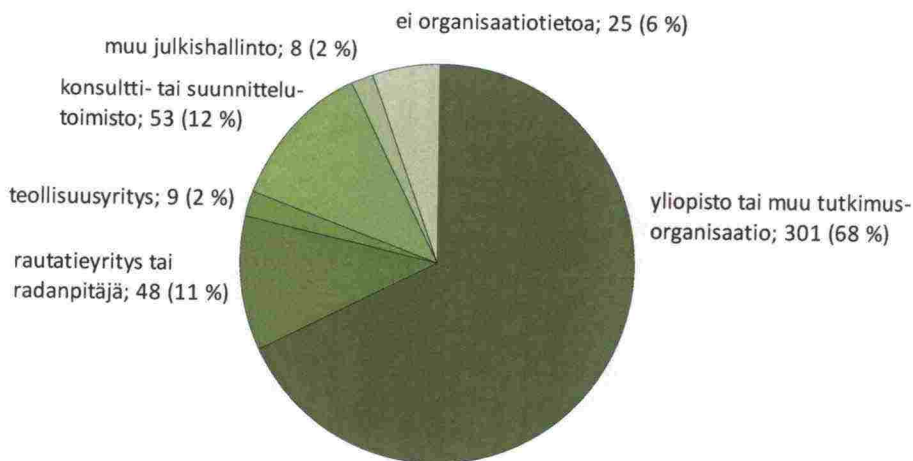
Tutkimusta tehdään hyvin monessa organisaatiossa. Kirjallisuuskatsaukseen sisältyvistä 218 organisaatiosta 20 eniten julkaiseen osuus on 36 prosenttia. Organisaatioita, joista kirjallisuuskatsauksessa on vain yksi julkaisu, on 152.

Tutkimusta tehdään eniten yliopistoissa ja muissa tutkimusorganisaatioissa. Kirjallisuuskatsaukseen sisältyy 135 tällaista organisaatiota (56 prosenttia organisaatioista), ja näistä organisaatioista on oltu mukana 301 julkaisun kirjoittamisessa (68 prosenttia organisaatioiden tutkimusviitteistä). Täsmällisyystutkimusta, jonka tuloksia julkaistaan tieteellisillä foorumeilla, tehdään myös konsultti- ja suunnittelutoimistoissa, rautatieyrityksissä, radanpidon organisaatioissa ja muussa julkishallinnossa sekä teollisuusyrityksissä. Kuvassa 4.5 on esitetty täsmällisyystutkimuksen jakauma erityyppisissä organisaatioissa organisaatioiden lukumäärän perusteella ja kuvassa 4.7 julkaisujen määrän perusteella.





Kuva 4.5 Täsmällisyystutkimus erityyppisissä organisaatioissa organisaatioiden lukumäärän mukaan.



Kuva 4.6 Täsmällisyystutkimus erityyppisissä organisaatioissa julkaisujen määrän mukaan.

#### 4.3.2 Tekijät

Julkaisuja on ollut kirjoittamassa 549 tekijää, ja he esiintyvät 756 kertaa kirjallisuuskatsauksen 326 julkaisussa. 18 tekijällä on vähintään neljä viitettä; näiden tekijöiden osuus on 17 prosenttia viitteistä. 72:n eniten julkaisseiden tekijän osuus viitteistä on kolmasosa ja 171:n eniten julkaisseiden puolet.

Tekijät, joilta on eniten julkaisuja kirjallisuuskatsauksessa, on esitetty taulukossa 4.4. Eniten julkaisseita tekijöitä ovat Ingo Hansen, Malachy Carey, Rob Goverde, Jianxin Yuan ja Leo Kroon. Näistä neljä on Alankomaista ja kolme Delftin teknillisen yliopiston (Delft University of Technology) liikennealan tutkijoita.

*Taulukko 4.4 Tekijät, joilta on eniten julkaisuja kirjallisuuskatsauksessa. 18 tekijällä on vähintään neljä julkaisua.*

Tekijä	Organisaatio	Maa	Julkaisuja	Osuus	Julkaisuvuodet kirjallisuuskatsauksessa
1 Hansen, Ingo A.	Delft University of Technology, Transport and Planning	Alankomaat	18	2 %	2000, 2001, 2002 (2), 2004 (2), 2006 (4), 2007 (4), 2008 (3), 2009
2 Carey, Malachy	University of Ulster, Faculty of Business and Management (1994–2003), Queen's University Belfast, School of Management and Economics (2007)	Britannia	10	1 %	1994 (4), 1995, 1998, 1999, 2000, 2003, 2007
3 Goverde, Rob M.P.	Delft University of Technology, Transport and Planning	Alankomaat	10	1 %	2000, 2002, 2005, 2006 (3), 2007, 2008 (2), 2009
4 Yuan, Jianxin	Delft University of Technology, Transport and Planning	Alankomaat	10	1 %	2002 (2), 2004 (2), 2006 (3), 2007 (2), 2008
5 Kroon, Leo G.	Erasmus University Rotterdam, Rotterdam School of Management (2004–2008), Erasmus University Rotterdam, Erasmus School of Economics (2005, 2007), NS Reizigers (2005–2008)	Alankomaat	8	1 %	2004, 2005, 2006 (2), 2007 (3), 2008
6 D'Ariano, Andrea	Delft University of Technology, Transport and Planning	Alankomaat	7	1 %	2006, 2007, 2008 (4), 2009
7 Ferreira, Luis A.	Queensland University of Technology	Australia	7	1 %	1995 (2), 1996, 1997 (2), 1998
8 Goodman, Colin J.	University of Birmingham, Electronic, Electrical and Computer Engineering (1997–2006), Hitachi (1998)	Britannia, Japani	7	1 %	1997, 1998, 2001, 2004 (2), 2006 (2)
9 Weeda, V. A. (Vincent Adeodat)	Delft University of Technology, Transport and Planning	Alankomaat	7	1 %	2006 (4), 2007, 2008 (2)
10 Higgins, Andrew J.	Queensland University of Technology (1995–1997), CSIRO Sustainable Ecosystems (1998), CSIRO Tropical Agriculture (1998)	Australia	6	1 %	1995 (2), 1996, 1997, 1998 (2)
11 Kozan, Erhan	Queensland University of Technology	Australia	6	1 %	1995 (2), 1996, 1997, 1998, 2006
12 Vromans, Michiel J. C. M.	Erasmus University Rotterdam, School of Management (2004–2006), Erasmus University Rotterdam, Erasmus School of Economics (2005), Erasmus University Rotterdam, Erasmus Research Institute of Management (2005), ProRail (2005–2008)	Alankomaat	6	1 %	2004, 2005 (2), 2006, 2007, 2008
13 Daamen, Winnie	Delft University of Technology, Transport and Planning	Alankomaat	5	1 %	2006 (2), 2008 (2), 2009
14 Albrecht, Thomas	Delft University of Technology, Transport and Planning (2006), Dresden University of Technology (2006–2009)	Alankomaat, Saksa	4	1 %	2006 (2), 2007, 2009
15 Dekker, Rommert	Erasmus University Rotterdam, Erasmus School of Economics	Alankomaat	4	1 %	2004, 2006, 2007, 2008
16 Pranzo, Marco	Università di Siena	Italia	4	1 %	2007, 2008 (2), 2009
17 Rietveld, Piet	Vrije Universiteit Amsterdam	Alankomaat	4	1 %	2001, 2004, 2006, 2009
18 Roberts, Clive	University of Birmingham, Electronic, Electrical and Computer Engineering	Britannia	4	1 %	2004, 2006, 2007, 2008
top 18 yhteensä			127	17 %	
muut 531 tekijää			629	83 %	
yhteensä 549 tekijää (n=326)			756	100 %	

Eniten julkaisseita täsmällisyystutkimuksen organisaatioita ja tutkijoita käsitellään tarkemmin seuraavassa luvussa 4.4.



#### 4.4 Eniten julkaisseita täsmällisyystutkimuksen organisaatioita ja tutkijoita

Tieteellistä tutkimusta tehdään eniten yliopistoissa. Kirjallisuuskatsauksessa on mukana myös muita alan organisaatioita, joista osassa tehdään itsenäistä tutkimusta ja myös julkaistaan tieteellisiä artikkeleja. Pääosassa muiden organisaatioiden julkaisuista on tekijänä myös yliopistoissa työskenteleviä tutkijoita.

Seuraavat esimerkit organisaatioiden ja tekijöiden osaamisalueista ja tutkimuksellisista profiileista kuvaavat sitä, mistä lähtökohdista ja millä tieteenaloilla rautateiden täsmällisyystutkimusta julkaistaan eniten. Kuvausten painopiste on rautateiden täsmällisyystutkimuksessa, ja esimerkiksi tekijöiden muuta osaamista käsitellään vain rajallisesti. Tässä yhteydessä tarkastellaan tarkemmin seitsemää eniten julkaissutta organisaatiota ja niiden 17:ää tieteentekijää sisältäen kirjallisuuskatsauksen 13 eniten julkaissutta tekijää.

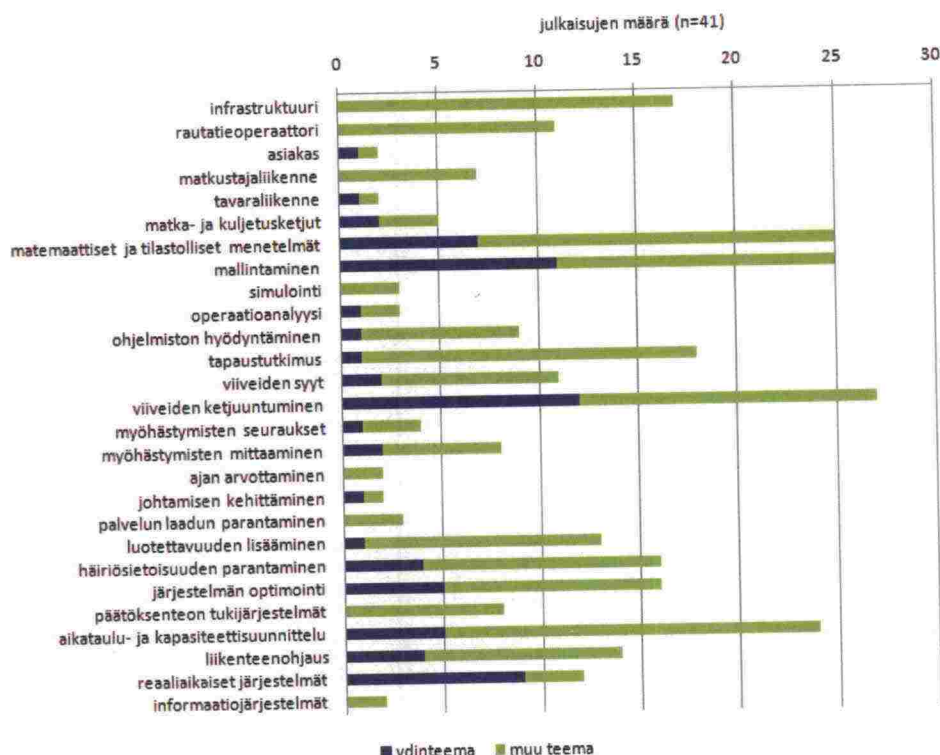
##### 4.4.1 H-indeksi

Tekijöiden tieteellisen tuotannon arvioinnissa yhtenä tunnuslukuna käytetään h-indeksiä, jonka tavoitteena on mitata kvantitatiivisesti yksittäisen tutkijan julkaisu-tehokkuutta ja julkaisujen merkittävyyttä. Indeksien arvo tarkoittaa tekijän niiden julkaisujen määrää, joihin on viitattu vähintään niin monta kertaa kuin indeksi arvo osoittaa (Hirsch 2005). Tällä mittarilla mitattuna kyseessä on siis sitä merkittävämpi tieteentekijä, mitä suurempi h-indeksien arvo on.

##### 4.4.2 Delftin teknillinen yliopisto

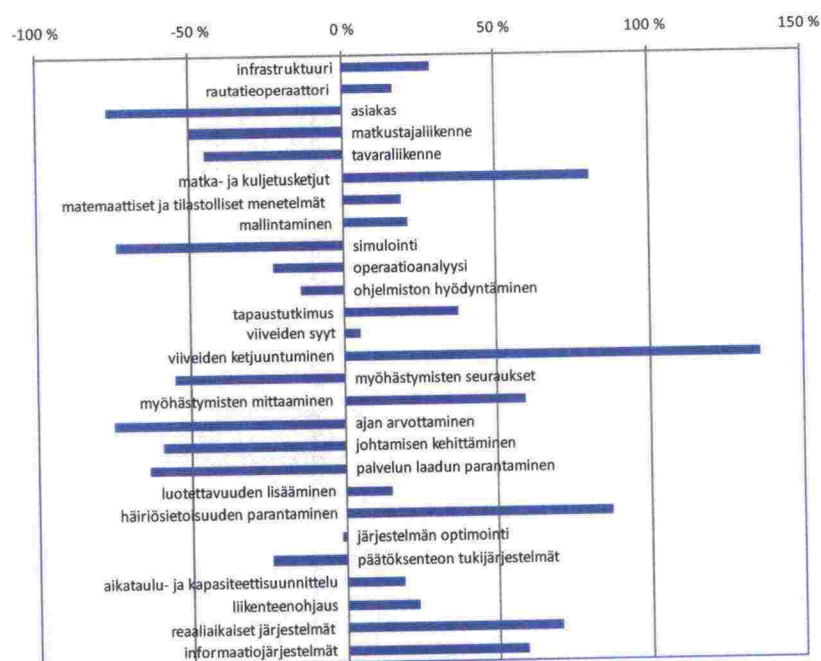
Rautateiden täsmällisyyteen liittyvän tutkimustoiminnan painopiste on Delftin teknillisessä yliopistossa (TU Delft, Delft University of Technology) liikennejärjestelmän suunnittelu (Design of Transport Systems) -yksikössä liikenteen ja suunnittelun osastolla (Department of Transport and Planning). Yksikössä tutkitaan muun muassa viiveiden ketjuuntumista rautatieliikenneverkossa, rautatieliikennejärjestelmän synkronoinnin optimointia ja optimaalista rautateiden liikenteenohjausta. Tutkimuksen aihepiirejä ovat primääriset ja sekundääriset viiveet, asemien kapasiteetin arviointi, kapasiteetin optimaalinen käyttö, häiriösietoiset aikataulut, päätöksenteon tukijärjestelmät liikenteen synkronointiin, stokastisten prosessien hallinta sekä liikenneverkon analysointi ja mallintaminen. (TU Delft 2009a)

Täsmällisyyttä on käsitelty yksittäisissä tutkimuksissa myös seuraavissa Delftin teknillisen yliopiston yksiköissä: Housing, Urban and Mobility Studies; Systems and Control; Applied Mathematics sekä Technology, Policy and Management. Lisäksi Transport Planning -yksikössä tehdään *reliable service network design* -tutkimusta, joka liittyy liikenneverkkojen luotettavuuteen ja häiriöherkkyyden vähentämiseen (TU Delft 2009h), mutta kirjallisuuskatsauksessa ei ole osumia tämän yksikön julkaisuihin. Delftin teknillisen yliopiston täsmällisyystutkimuksen teemat kirjallisuuskatsauksessa on esitetty kuvassa 4.7.



Kuva 4.7 Delftin teknillisen yliopiston täsmällisyystutkimuksen teemat kirjallisuuskatsauksen aineiston mukaan.

Koko kirjallisuuskatsauksen aineistoon verrattuna Delftin teknillisessä yliopistossa on tutkittu suhteessa enemmän viiveiden ketjuuntumista (kuva 4.8). Useissa julkaisuissa käsitellyistä teemoista myös häiriösietoisuuden parantamista on käsitelty keskimääräistä enemmän. Asiakas, simulointi, myöhästymisten seuraukset, ajan arvottaminen, johtamisen kehittäminen ja palvelun laadun parantaminen ovat keskimääräistä vähemmän esillä Delftin teknillisen yliopiston julkaisuissa.



Kuva 4.8 Delftin teknillisen yliopiston täsmällisyystutkimuksen teemojen poikkeama kirjallisuuskatsauksen koko aineiston teemoista.



Liikennealan tohtoriopiskelun yhteisorganisaationa Alankomaissa toimii viiden yliopiston yhteinen TRAIL-tutkijakoulu (Netherlands Research School on Transport, Infrastructure and Logistics). Mukana ovat Erasmus University Rotterdam, Delft University of Technology, University of Groningen, University of Twente ja Radboud University Nijmegen. (TRAIL Research School 2009)

**Ingo Hansen** on Delftin teknillisen yliopiston liikennejärjestelmän suunnittelun (design of transportation facilities) professori ja liikenteen ja suunnittelun osaston johtaja. Hänen osaamisalueitaan ovat tie- ja rautatieliikenteen suunnittelu, joukkoliikennejärjestelmät, aikataulusuunnittelu, rautateiden operaatioanalyysi ja liikenneturvallisuus. (Albrecht et al. 2008, TU Delft 2009f, TU Delft 2009g)

Tässä kirjallisuuskatsauksessa Hansenilla on eniten julkaisuja: yhteensä 18. Hänen 19 keskeisimmästä julkaisustaan (TU Delft 2009g) kirjallisuuskatsauksessa on mukana neljä: *Optimizing capacity utilization of stations by estimating knock-on train delays* (Yuan & Hansen 2007), *State-of-the-art of railway operations research* (Hansen 2006), *Increase of capacity through optimised timetabling* (Hansen 2004) ja *Improving railway punctuality by automatic piloting* (Hansen 2001). Kirjallisuuskatsauksessa tarkastelluista julkaisuista viisi on tiedejulkaisujen artikkeleja, 12 konferenssijulkaisujen artikkeleja ja yksi aikakauslehtiartikkeli. Rautateiden täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta kymmenen Hansenin julkaisua on arvioitu täysosumiksi ja kuusi merkittäviksi osumiksi.

Scopus-tietokannassa (Scopus 2009h) Hansenilla on 20 julkaisua vuosilta 1998–2009, ja niihin on viitattu 15 muussa julkaisussa. Näistä 20 julkaisusta 15 on mukana kirjallisuuskatsauksessa: D'Ariano, Daamen, Goverde, Weeda ja Yuan (Delftin teknillinen yliopisto), Albrecht (Dresdenin teknillinen yliopisto), Pranzo (Università kirjallisuuskatsauksessa. Hänellä on 8 tekijäkumppania, jotka kaikki ovat mukana tekijöinä di Siena) ja Van Luipen (ProRail). Hansenin h-indeksi on 2; tämän perusteella hän ei ole ollut tieteellisesti kovin aktiivinen julkaisujen määrästä huolimatta. Hän on kuitenkin mukana asiantuntijana ja aktiivisena toimijana eri organisaatioissa, julkaisuissa ja konferensseissa.

**Rob Goverde** toimii apulaisprofessorina liikennejärjestelmän suunnittelun yksikössä. Hänen tutkimuksensa liittyvät seuraaviin rautatieliikenteen osa-alueisiin: aikataulujen optimointi, toimintojen matemaattinen mallintaminen, aikataulujen stabiilisuusanalyysi max-plus-algebran avulla, liikenteen toteumatietojen tilastolliset analyysit, liikenteen-hallinta ja liikenteen simulointi. (TU Delft 2009c)

Kirjallisuuskatsauksessa on kymmenen julkaisua, joissa Goverde on tekijänä. Hänen kaksi keskeisintä julkaisuaan (TU Delft 2009c), väitöskirja *Punctuality of railway operations and timetable stability analysis* (Goverde 2005) ja tiedejulkaisun artikkeli *Railway timetable stability analysis using max-plus system theory* (Goverde 2007) sisältyvät kirjallisuuskatsaukseen. Muista julkaisuista kaksi on tiedejulkaisujen artikkeleja ja kuusi konferenssijulkaisujen artikkeleja. Julkaisuista kuusi on arvioitu rautateiden täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi ja neljä merkittäviksi osumiksi.



Scopus-tietokannassa (Scopus 2009g) Goverdella on 9 julkaisua vuosilta 1998–2009, ja niihin on viitattu 10 muussa julkaisussa. Näistä yhdeksästä julkaisusta viisi on mukana kirjallisuuskatsauksessa. Hänellä on 11 tekijäkumppania, joista 7 on mukana kirjallisuuskatsauksessa: Daamen, Hansen, Weeda ja Yuan (Delftin teknillinen yliopisto), Albrecht (Dresdenin teknillinen yliopisto), Heidergott (Vrije Universiteit Amsterdam) ja Van Luipen (ProRail). Goverden h-indeksi on 2.

**Jianxin Yuan** on työskennellyt tutkijana liikennejärjestelmien suunnittelun yksikössä. Hänen julkaisujensa aiheina ovat järjestelmän optimointi ja viiveiden ketjuuntumisen analysointi mallintamisen ja matemaattisten tarkastelujen avulla. Myös hänen väitöskirjansa *Stochastic modelling of train delays and delay propagation in stations* (Yuan 2006) käsittelee samoja aihepiirejä. Tämän lisäksi loppuista yhdeksästä kirjallisuuskatsaukseen sisältyvästä julkaisusta yksi on tiedejulkaisun artikkeli ja kahdeksan konferenssijulkaisujen artikkeleja. Kaikki kymmenen julkaisua on arvioitu rautateiden täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi.

Scopus-tietokannassa (Scopus 2009q) Yuanilla on 8 julkaisua vuosilta 1998–2008, ja niihin on viitattu 9 muussa julkaisussa. Näistä kahdeksasta julkaisusta viisi on mukana kirjallisuuskatsauksessa. Hänellä on Scopus-tietokannan mukaan neljä tekijäkumppania, joista kirjallisuuskatsauksessa on mukana vain Hansen. Yuanin h-indeksi on 2.

**Andrea D'Ariano** on post doc -tutkija liikennejärjestelmien suunnittelun yksikössä (TU Delft 2009d). Hänen tutkimustyönsä liittyy rautateiden liikenteenohjauksen optimointiin. Julkaisut käsittelevät reaaliaikaista liikenteenohjausta ja -hallintaa hyödyntäen mallintamista ja matemaattisia menetelmiä. Kirjallisuuskatsaukseen sisältyy seitsemän julkaisua, joissa D'Ariano on kirjoittajana. Näistä yksi on hänen väitöskirjansa *Improving real-time train dispatching: models, algorithms and applications* (D'Ariano 2008). Lisäksi on neljä tiedejulkaisun artikkeleja ja kaksi konferenssijulkaisun artikkeleja. Julkaisuista kolme on arvioitu rautateiden täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi, kaksi merkittäviksi osumiksi ja kaksi sivuosumiksi.

Scopus-tietokannassa (Scopus 2009c) D'Arianolla on 7 julkaisua vuosilta 2006–2009, ja niihin on viitattu 10 muussa julkaisussa. Näistä seitsemästä julkaisusta neljä on mukana tässä kirjallisuuskatsauksessa. Hänellä on viisi tekijäkumppania, jotka kaikki ovat mukana kirjallisuuskatsauksessa: Corman ja Hansen (Delftin teknillinen yliopisto), Albrecht (Dresdenin teknillinen yliopisto), Pacciarelli (Università Roma Tre) ja Pranzo (Università di Siena). D'Arianon h-indeksi on 3.

**Vincent Adeodat Weeda** on työskennellyt tutkijana liikennejärjestelmien suunnittelun yksikössä, mutta on nykyään liikenneanalyttikkona ProRailin Performance Analysis -yksikössä. Hän on ollut mukana tutkimuksissa, jotka käsittelevät muun muassa joukko-liikenteen luotettavuuden seurantajärjestelmiä, ja täsmällisyyden parantamista ja energiankulutuksen vähentämistä veturinkuljettajien käytettävissä olevaa tietoa lisäämällä. (TU Delft 2009e, Railforum 2009, van Oort & Weeda 2009)

Kirjallisuuskatsauksessa Weeda on kirjoittajana seitsemässä julkaisussa, joista yksi on tiedejulkaisun artikkeli, neljä konferenssijulkaisujen artikkeleja, yksi aikakauslehti-artikkeli ja yksi tutkimusraportti. Julkaisuista kaksi on arvioitu rautateiden täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi, neljä merkittäviksi osumiksi ja yksi sivuosumaksi.



Scopus-tietokannassa (Scopus 2009p) hänellä on kolme julkaisua vuosilta 2006–2008, ja ne kaikki ovat mukana kirjallisuuskatsauksessa; näihin ei ole viittauksia muista julkaisuista. Weedalla on viisi tekijäkumppania, jotka kaikki ovat mukana kirjallisuuskatsauksessa: Goverde ja Wiggenraad (Delftin teknillinen yliopisto), Albrecht (Dresdenin teknillinen yliopisto), Hofstra ja Van Luipen (ProRail).

**Winnie Daamen** toimii apulaisprofessorina liikennevirtateorian ja simuloinnin yksikössä (TU Delft 2009b). Hänen tutkimustoiminnastaan vain osa liittyy rautateihin ja täsmällisyyteen. Kirjallisuuskatsauksessa on viisi julkaisua, joissa Daamen on kirjoittajana. Ne käsittelevät rautatiejärjestelmän luotettavuutta ja häiriöiden automaattista tunnistamista ja rekisteröintiä. Julkaisuihin kaksi on tiedejulkaisujen artikkeleja, kaksi konferenssijulkaisujen artikkeleja ja yksi tutkimusraportti. Rautateiden täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta kolme julkaisua on arvioitu täysosumiksi ja kaksi merkittäviksi osumiksi.

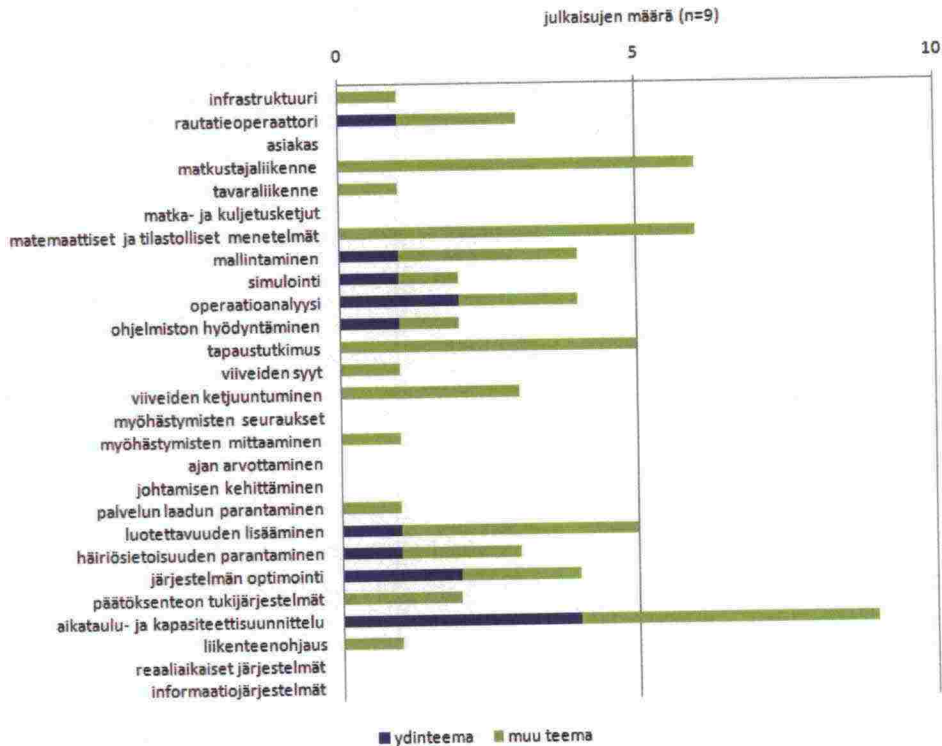
Scopus-tietokannassa (Scopus 2009b) Daamenilla on 13 julkaisua vuosilta 2003–2009, ja niihin on viitattu 37 muussa julkaisussa. Näistä kaksi on mukana kirjallisuuskatsauksessa. Hänellä on kahdeksan tekijäkumppania, joista kolme on mukana kirjallisuuskatsauksessa: Goverde, Hansen ja Wiggenraad Delftin teknillisestä yliopistosta. Daamenin h-indeksi on 3.

#### **4.4.3 Erasmus University Rotterdam**

Rautateiden täsmällisyyteen liittyvää tutkimusta tehdään yliopiston tiedekunnissa, jotka toimivat nimillä Rotterdam School of Management (RSM) ja Erasmus School of Economics (ESE). Tutkimustoiminnan sateenvarjona toimii tiedekuntien yhteinen Erasmus Research Institute of Management (ERIM).

ESE:n ekonometrian osaston yhteydessä toimii Erasmus Center for Optimization in Public Transport (ECOPT) -tutkimusyksikkö, joka tutkii joukkoliikenteen suunnitteluun liittyviä ongelmia ja kehittää suunnitteluprosessien tueksi ratkaisumenetelmiä ja ohjelmistoja. (Erasmus University Rotterdam 2009a)

Kirjallisuuskatsaukseen sisältyvissä Erasmus University Rotterdamin kaikissa julkaisuissa käsitellään aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelua (kuva 4.9). Seuraavia teemoja ei ole käsitelty lainkaan: asiakas, matka- ja kuljetusketjut, myöhästymisten seuraukset, ajan arvottaminen, johtamisen kehittäminen, reaaliaikaiset järjestelmät ja informaatiojärjestelmät.



Kuva 4.9 Erasmus University Rotterdamin täsmällisyystutkimuksen teemat.

Erasmus University Rotterdammassa on hyödynnetty operaatioanalyysiä selvästi enemmän, lähes viisi kertaa enemmän kuin kirjallisuuskatsauksen aineistossa keskimäärin.

**Leo Kroon** kehittää NS:n logistiikkaosastolla päätöksenteon tukijärjestelmiä ja suunnittelujärjestelmiä liittyen aikataulusuunnitteluun ja kaluston ja henkilöstön käytön suunnitteluun. Hän toimii myös logistiikan (quantitative logistics) professorina RSM:n päätöksenteon ja informaatiotieteiden osastolla (Department of Decision and Information Sciences) ja on mukana ECOPT-tutkimusryhmässä. Kroonin tutkimusaloja ovat logistiikka, rautateihin liittyvä joukkoliikenne ja kvantitatiivinen mallintaminen. Hän on mukana EU-rahoitteisessa ARRIVAL-projektissa (*Algorithms for robust and online railway optimization: improving the validity and reliability of large-scale systems*). (Erasmus University Rotterdam 2009a, Rotterdam School of Management 2009a)

Kroonin tutkimus painottuu täsmällisyyden osalta aikataulusuunnittelun kehittämiseen mallintamalla. Kirjallisuuskatsauksessa hän on kirjoittajana kahdeksassa julkaisussa, joista neljä on tiedejulkaisujen artikkeleja, kaksi konferenssijulkaisujen artikkeleja, yksi kirjan osa ja yksi tutkimusraportti. Julkaisuista kaksi on arvioitu rautateiden täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi, kaksi merkittäviksi osumiksi ja neljä sivuosumiksi. Hänen kuudesta keskeisimmästä julkaisuistaan (Rotterdam School of Management 2009a) on kirjallisuuskatsauksessa mukana *Operations research in passenger railway transportation* (Huisman et al. 2005).



Scopus-tietokannassa (Scopus 2009l) Kroonilla on 38 julkaisua vuosilta 1983–2009, ja niihin on viitattu 126 muussa julkaisussa. Julkaisuista kuusi on mukana kirjallisuuskatsauksessa. Hänellä on 36 tekijäkumppania, joista kymmenellä on julkaisuja kirjallisuuskatsauksessa: Dekker, Helmrich, Huisman, Lentink ja Maróti (Erasmus University Rotterdam), Shrijver (University of Amsterdam), Fioole (NS), Hooghiemstra (Railned), Peeters (Electrabel) ja Vromans (ProRail). Kroonin h-indeksi on 7.

**Michiel Vromans** on tehnyt väitöskirjatutkimuksensa *Reliability of railway systems* (Vromans 2005) ERIM:ssa ja työskennellyt ECOPT-tutkimusryhmässä. Nykyään hän on ProRailin palveluksessa. (Erasmus University Rotterdam 2009a)

Vromansin tutkimustyö liittyy rautateiden luotettavuuteen ja heterogeenisyyteen sekä aikataulusuunnittelun kehittämiseen optimoimalla, mallintamalla ja simuloimalla. Kirjallisuuskatsauksessa Vromans on kirjoittajana kuudessa julkaisussa, joista kolme on tiedejulkaisun artikkeleja, kaksi konferenssijulkaisujen artikkeleja ja yksi väitöskirja. Julkaisuista kolme on arvioitu rautateiden täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi, yksi merkittäväksi osumaksi ja kaksi sivuosumiksi.

Scopus-tietokannassa (Scopus 2009o) Vromansilla on kuusi julkaisua vuosilta 2004–2008, ja niihin on viitattu 9 muussa julkaisussa. Hänellä on 9 tekijäkumppania, joista kuusi on mukana kirjallisuuskatsauksessa: Dekker, Helmrich, Huisman, Kroon, Lentink ja Maróti, kaikki Erasmus University Rotterdamista. Vromansin h-indeksi on 3.

**Rommert Dekker** toimii professorina ESE:n ekonometrian osastolla alanaan operaatioanalyysi (operations research), logistiikka (quantative logistics) ja informaatioteknologia (Erasmus University Rotterdam 2009c). Rautateiden täsmällisyyteen liittyvät julkaisut käsittelevät aikataulusuunnittelua, optimointia ja simulointia.

Kirjallisuuskatsauksessa Dekker on kirjoittajana neljässä julkaisussa, joista kaksi on tiedejulkaisujen artikkeleja ja kaksi konferenssijulkaisujen artikkeleja. Näistä kaksi on arvioitu rautateiden täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi, yksi merkittäväksi osumaksi ja yksi sivuosumaksi.

Scopus-tietokannassa (Scopus 2009d) Dekkerillä on 80 julkaisua vuosilta 1985–2009, ja niihin on viitattu 980 muussa julkaisussa. Hänellä on 104 tekijäkumppania. Dekkerin h-indeksi on 17.

**Gábor Maróti** työskentelee post doc -tutkijana RSM:n päätöksenteon ja informaatiotieteiden osastolla (Department of Decision and Information Sciences) ja on mukana ECOPT-tutkimusryhmässä. Hänen tutkimusalueitaan ovat operaatioanalyysi ja rautatie liikenne. (Erasmus University Rotterdam 2009a, Rotterdam School of Management 2009b).

Maróti on kirjoittajana kolmessa kirjallisuuskatsauksen julkaisussa, joista kaksi on tiedejulkaisujen artikkeleja ja yksi tutkimusraportti. Rautateiden täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta yksi julkaisu on arvioitu täysosumaksi, yksi merkittäväksi osumaksi ja yksi sivuosumaksi. Hänen keskeisistä julkaisuistaan on kirjallisuuskatsauksessa mukana merkittävänä osumana tiedejulkaisun artikkeli *A rolling stock circulation model for combining and splitting of passenger trains* (Fioole et al. 2006).

Scopus-tietokannassa (Scopus 2009m) Marótilla on kuusi julkaisua vuosilta 2003–2009, ja niihin on viitattu 10 muussa julkaisussa. Näistä kaksi on mukana kirjallisuuskatsauksessa. Hänellä on 12 tekijäkumppania, joista 7 on mukana kirjallisuuskatsauksessa: Dekker, Helmrich, Huisman ja Kroon (Erasmus University Rotterdam), Fioole (NS), Schrijver (University of Amsterdam) ja Vromans (ProRail). Marótin h-indeksi on 3.

**Dennis Huisman** työskentelee logistiikan ja operaatioanalyysin (management science) apulaisprofessorina ESE:n ekonometrian laitoksella sekä operaatioanalyysikonsulttina NS:ssä. Hän on myös ECOPT:n johtaja. Hänen tutkimustoimintansa liittyy operaatioanalyysin mallien ja menetelmien kehittämiseen siten, että niitä voidaan hyödyntää monimutkaisten logististen ongelmien ratkaisussa rautatieyrityksen suunnittelussa ja toiminnassa. (Erasmus University Rotterdam 2009a, Erasmus University Rotterdam 2009b)

Kirjallisuuskatsauksessa Huisman on kirjoittajana kahdessa julkaisussa, jotka käsittelevät operaatioanalyysin hyödyntämistä ja häiriönhallintaa rautateiden matkustajaliikenteessä. Molemmat on arvioitu rautateiden täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta sivuosumiksi.

Scopus-tietokannassa (Scopus 2009j) Huismanilla on 13 julkaisua vuosilta 2003–2009, ja niihin on viitattu 39 muussa julkaisussa. Hänellä on 25 tekijäkumppania, joista 7 on mukana kirjallisuuskatsauksessa: Dekker, Kroon, Lentink ja Maróti (Erasmus University Rotterdam), Schrijver (University of Amsterdam), Fioole (NS) ja Vromans (ProRail). Huismanin h-indeksi on 4.

Lisäksi kirjallisuuskatsauksessa on yksittäisissä artikkeleissa tekijöinä neljä Erasmus University Rotterdamin nykyistä tai entistä tohtoriopiskelijaa, usein tekijäkumppaneina yliopiston nykyisen henkilökunnan kanssa: Mathijn Retel Helmrich, Ramon Lentik, Daniel Potthoff ja Leo Peeters.

#### 4.4.4 NS, ProRail ja Railned

Tekijöiden taustaorganisaatioiden kärkijoukossa muita kuin yliopistoja ovat NS ja ProRail. NS (Nederlandse Spoorwegen, Netherlands Railways) on Alankomaiden valtion omistama konserni, joka harjoittaa rautateiden matkustajaliikennettä, ylläpitää ja kehittää asemia sekä rakentaa ja kunnossapitää rataverkkoa (NS 2009). ProRail on Alankomaiden valtion omistama rataverkon haltija (*network infrastructure manager*), joka ylläpitää ja kehittää 6500 kilometrin rataverkkoa (ProRail 2009b, ProRail 2009a). ProRailin edeltäjänä rataverkon haltijana on vuosina 1995–2002 toiminut Railned, joka oli hallinnollisesti osa NS-konsernia (ProRail 2009b).

Valtaosa NS:n, ProRailin ja Railnedin kirjallisuuskatsaukseen sisältyvistä julkaisuista on tehty yhteistyössä alankomaalaisten yliopistojen tutkijoiden kanssa tai siten, että samat ihmiset toimivat sekä yliopistossa että rataverkon haltijan tai rautatieyrityksen palveluksessa.

#### 4.4.5 University of Ulster ja Queen's University Belfast

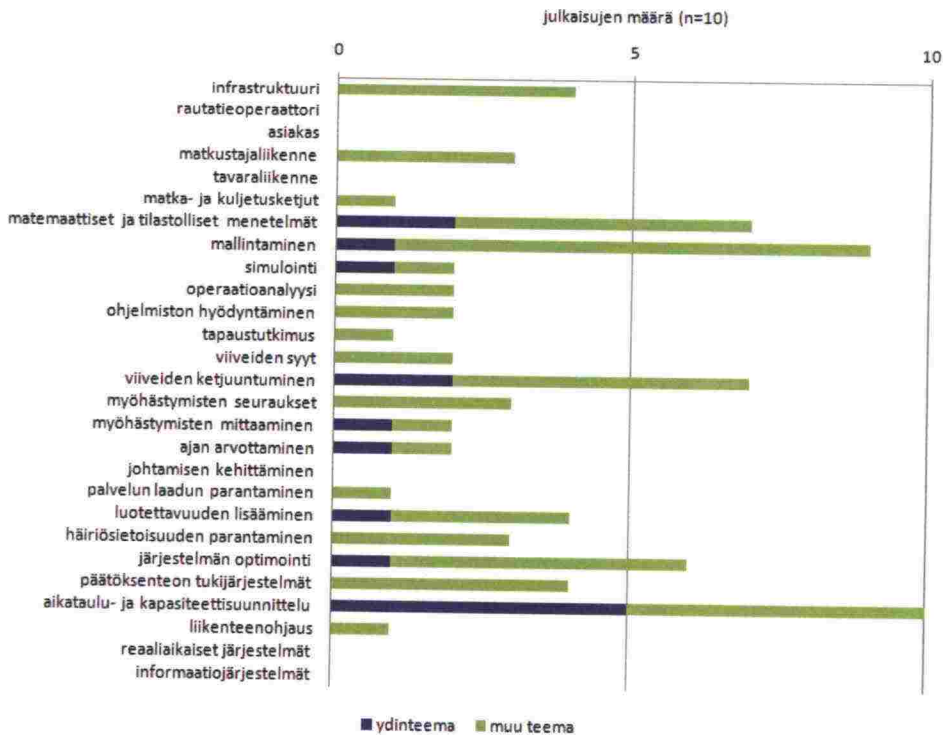
Täsmällisyystutkimusta näissä yliopistoissa on tehnyt professori **Malachy Carey**. Hän on toiminut vuodesta 2003 operaatioanalyysin (management science) professorina



Queen's University Belfastissa ja sitä ennen saman alan tutkimus- ja opetustehtävissä ja professorina University of Ulsterissa (Queen's University Belfast 2009).

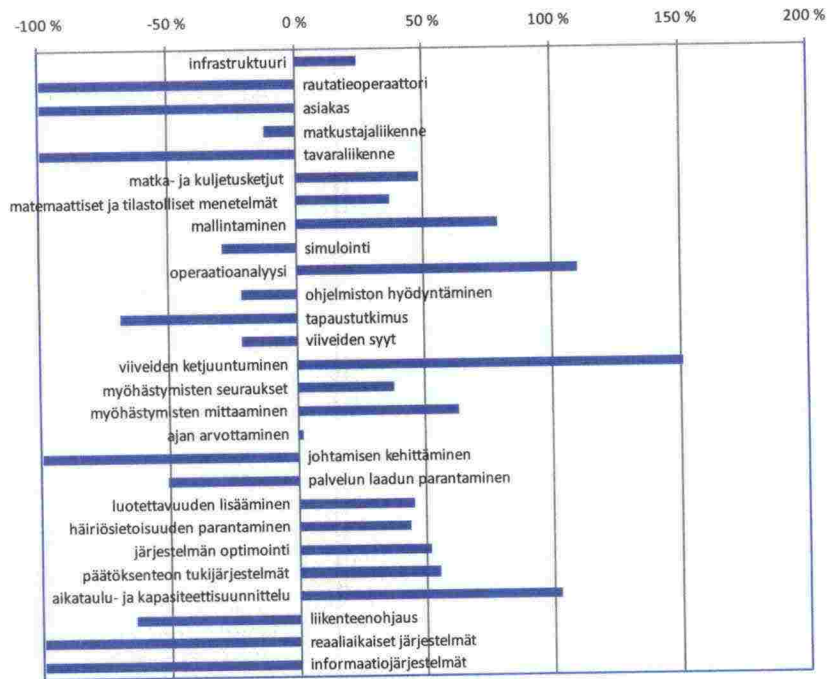
Careyn tutkimusalueita ovat liikenteen ennustaminen, optimointi, hallinta ja hinnoittelu tieverkolla, dynaaminen liikenteen sijoittelu sekä joukkoliikenteen, erityisesti rautateiden matkustajaliikenteen aikataulusuunnittelu ja luotettavuus (Queen's University Belfast 2009). Myös kirjallisuuskatsaukseen sisältyvät 10 julkaisua, jotka kaikki ovat tiedejulkaisujen artikkeleja, liittyvät näihin aihepiireihin, ja ne kattavat noin kuudesosan hänen vertaisarvioitujen julkaisujen määrästä (Queen's University Belfast 2009). Kirjallisuuskatsauksen julkaisuista viisi on arvioitu rautateiden täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi, kaksi merkittäviksi osumiksi ja kolme sivuosumiksi.

Kaikissa kirjallisuuskatsaukseen sisältyvissä artikkeleissa käsitellään aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelua (kuva 4.10). Artikkelit liittyvät usein myös mallintamiseen, matemaattisiin ja tilastollisiin menetelmiin ja viiveiden ketjuuntumiseen. Careyn tutkimusnäkökulmina eivät ole asiakas, rautatieoperaattori, tavaraliikenne, johtamisen kehittäminen, reaaliaikaiset järjestelmät eivätkä informaatiojärjestelmät.



Kuva 4.10 Malachy Careyn täsmällisyystutkimuksen teemat.

Koko kirjallisuuskatsauksen aineistoon verrattuna Carey käsittelee suhteessa enemmän erityisesti viiveiden ketjuuntumista (kuva 4.11).



Kuva 4.11 Malachy Careyn täsmällisyystutkimuksen teemojen poikkeama kirjallisuuskatsauksen koko aineiston teemoista.

Scopus-tietokannassa (Scopus 2009a) Careyllä on 36 julkaisua vuosilta 1981–2007, ja niihin on viitattu 248 muussa julkaisussa. Tietokannassa ovat kaikki 10 kirjallisuuskatsaukseen sisältyvää julkaisua. Hänellä on 13 tekijäkumppania, joista kolme on mukana kirjallisuuskatsauksessa: Carville (NortelNetworks, University of Ulster), Crawford (University of Ulster) ja Kwiecinski (University of Wrocław ja University of Ulster). Careyn h-indeksi on 8.

#### 4.4.6 University of Birmingham

Yliopistossa tehdään rautateihin liittyvää tutkimusta monella eri alalla. Tutkimuksen sateenvarjoyksikkönä on *The Birmingham Centre for Railway Research and Education*. Tutkimuksen aihepiirejä ovat omaisuudenhallinta, rataverkon kunnan valvonta, ratakapasiteetti ja kysynnän ennustaminen, geotekniikka ja rakenteiden mallintaminen, ilmaston ja sään vaikutus rakenteisiin, materiaalitekniikka, ainetta rikkomaton testaus, energiankäytön ja vetovoiman simulointi, aerodynamiikka, liikenteenohjaus- ja turvalaitejärjestelmät, systeemitekniikka sekä riskienhallinta ja turvallisuus. (University of Birmingham 2009a)

**Colin Goodman** on työskennellyt vuodesta 1973 sähkö- ja tietotekniikan osastolla tutkimus- ja opetustehtävissä, tällä hetkellä nimikkeellä *reader in traction systems*. Hänen tutkimusalueitaan ovat rataverkon ja junaliikenteen simulointi, liikenteenohjaus- ja turvalaitejärjestelmät ja vetokalustoon liittyvä sähkötekniikka. (University of Birmingham 2009c, University of Birmingham 2000)



Kirjallisuuskatsaukseen sisältyy seitsemän julkaisua, jossa Goodman on kirjoittajana. Näistä kolme on tiedejulkaisujen artikkeleja ja neljä konferenssijulkaisujen artikkeleja. Julkaisut käsittelevät junien kulun ja liikenteenohjauksen optimointia matkustajaliikenteen solmukohdissa. Kaksi julkaisua on arvioitu rautateiden täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi, neljä merkittäviksi osumiksi ja yksi sivuosumaksi.

Scopus-tietokannassa (Scopus 2009f) Goodman on kirjoittajana 49 julkaisussa, jotka ovat ilmestyneet vuosina 1984–2008. Näihin julkaisuihin on viitattu 132 muussa julkaisussa. Hänellä on 54 tekijäkumppania, joista 10 on mukana kirjallisuuskatsauksessa: Bouch, Roberts ja Weston (University of Birmingham), Armstrong ja Preston (University of Southampton), Ho (Hong Kong Polytechnic University), Murata (Hitachi), Sone ja Takagi (Kogakuin University) ja Ueda (Central Japan Railway). Goodmanin h-indeksi on 5.

**Clive Roberts** työskentelee lehtorina ja vanhempana tutkijana sähkö- ja tietotekniikan osastolla. Hänen tutkimusalojaan ovat rautatietekniikka, hajautettu vikadiagnostiikka, kunnonvalvontajärjestelmät, junakaluston ja radan keskinäinen vaikutus, turvalaitejärjestelmät, junan ohjausjärjestelmät ja robotiikka sekä intermodaalikuljetusten optimointi. (University of Birmingham 2009b)

Kirjallisuuskatsauksessa Roberts on kirjoittajana neljässä julkaisussa, jotka käsittelevät liikenteen optimointia (yhteistyössä Goodmanin kanssa) ja aihetta sivuavia ratojen vikadiagnostiikkaa ja kunnon valvontaa. Julkaisuista kaksi on tiedejulkaisujen artikkeleja, yksi konferenssijulkaisun artikkeli ja yksi kirjan osa. Rautateiden täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta yksi julkaisuista on arvioitu täysosumaksi ja kolme sivuosumiksi.

Scopus-tietokannassa (Scopus 2009n) Robertsilla on 30 julkaisua vuosilta 1998–2009, ja niihin on viitattu 63 muussa julkaisussa. Julkaisuista kolme sisältyy kirjallisuuskatsaukseen. Hänellä on 32 tekijäkumppania, joista 7 on mukana kirjallisuuskatsauksessa: Chen, Goodman, Lewis, Takagi, Tobias ja Weston (University of Birmingham) ja García Márquez (Universidad de Castilla-La Mancha). Robertsin h-indeksi on 5.

Kirjallisuuskatsauksessa on lisäksi yksittäisiä osumia muilta yliopiston tutkijoilta, mutta näissä on tekijänä aina myös joko Goodman tai Roberts. Esimerkiksi soveltavan meteorologian professori **John Thornes** on toisena tekijänä yhdessä julkaisussa (Thornes & Davis 2002), jossa käsitellään sään ja kelin vaikutusta viiveisiin (University of Birmingham 2009d).

#### 4.4.7 *Queenslandin teknillinen yliopisto*

Kirjallisuuskatsauksessa on kolme tekijää Queenslandin teknillisestä yliopistosta (Queensland University of Technology). Yliopisto sijaitsee Brisbanessa Australiassa.

**Luis Ferreira** työskentelee professorina kaupunkirakentamisen laitoksella (School of Urban Development) rakennustekniikan oppialalla. Hänen osaamisalueitaan ovat liikennesuunnittelu, rautatiet, joukkoliikenne ja liikennetekniikka. (Queensland University of Technology 2009d)

Kirjallisuuskatsauksessa Ferreira on kirjoittajana 7 julkaisussa, jotka käsittelevät rautatieinfrastruktuurin hallintaa ja kehittämistä, aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelua ja

rautatiekuljetusten suunnittelua. Julkaisuista, jotka ovat ilmestyneet 1995–1998, kuusi on tiedejulkaisujen artikkeleja ja yksi konferenssijulkaisun artikkeli. Rautateiden täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta julkaisuista yksi on arvioitu täysosumaksi, kolme merkittäviksi osumiksi ja kolme sivuosumiksi. Tekijäkumppaneina näissä julkaisuissa ovat Higgins ja Kozan, molemmat Queenslandin teknillisestä yliopistosta.

Scopus-tietokannassa Luis Alberto Ferreiran profiilissa (Scopus 2009e) on ainakin kahden eri henkilön julkaisutietoja – vrt. (Queensland University of Technology 2009a) – joten tunnusluvut eivät ole paikkansapitäviä. Profiilissa on ilmeisesti ainakin 49 julkaisua, joissa Queenslandin teknillisen yliopiston Ferreira on ollut kirjoittajana vuosilta 1992–2008. Näihin sisältyvät kaikki kirjallisuuskatsauksen 7 julkaisua.

**Erhan Kozan** on operaatioanalyysin professori Queenslandin teknillisen yliopiston matemaattisten tieteiden laitoksella (School of Mathematical Sciences). Hänen osaamisalueitaan ovat aikataulusuunnittelu, optimointi, liikenne, terveystaloudet ja logistiikka. (Queensland University of Technology 2009c)

Kirjallisuuskatsauksessa Kozan on kirjoittajana kuudessa julkaisussa vuosilta 1995–2006. Ne käsittelevät rautatieliikenteen mallintamista ja aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelua ja intermodaaliterminaalien kapasiteetin optimointia. Kaikki julkaisut ovat tiedejulkaisujen artikkeleja. Julkaisuista kaksi on arvioitu rautateiden täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumaksi, yksi merkittäväksi osumaksi ja kolme sivuosumiksi.

Scopus-tietokannassa (Scopus 2009k) Kozanilla on 33 julkaisua vuosilta 1992–2010, ja niihin on viitattu 199 muussa julkaisussa. Kirjallisuuskatsauksen kuusi julkaisua sisältyvät tietokantaan. Hänellä on 12 tekijäkumppania, joista kirjallisuuskatsauksessa ovat mukana Ferreira ja Higgings Queenslandin teknillisestä yliopistosta. Kozanin h-indeksi on 9.

**Andrew Higgins** on työskennellyt Queenslandin teknillisessä yliopistossa ainakin vuosina 1995–1999 (Queensland University of Technology 2009b). Kirjallisuuskatsaukseen sisältyy kuusi julkaisua, joissa hän on ollut kirjoittajana yhdessä Ferreiran tai Kozanin tai molempien kanssa vuosina 1995–1998. Higgins työskentelee nykyään CSIRO Sustainable Ecosystems -organisaation palveluksessa Australiassa.

Scopus-tietokannassa (Scopus 2009i) Higginsillä on 38 julkaisua vuosilta 1995–2009, ja niihin on viitattu 180 muussa julkaisussa. Uudemmat julkaisut liittyvät ympäristö- ja elintarvikealaan, ja niistä monet käsittelevät logistiikkaa tai kuljetuksia. Higginsin h-indeksi on 9.



#### 4.5 Sarjajulkaisut

Kirjallisuuskatsaukseen sisältyy 205 viitettä 81 sarjajulkaisuun, jotka ovat tiedejulkaisuja (journal) tai aikakauslehtiä (magazine). Viitteistä 123 viittaa artikkeleihin, jotka on arvioitu täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi; tällaisia viitteitä on 54 sarjajulkaisuun (taulukko 4.5). Lisäksi on viittauksia konferenssijulkaisuihin.

Rautatieliikenteen täsmällisyystutkimusta julkaistaan eri alojen sarjajulkaisuissa riippuen tutkimuksen näkökulmasta (taulukko 4.5). Keskeisiä niin tutkimuksen kuin sarjajulkaisujenkin aloja, aihepiirejä tai näkökulmia ovat

- liikennejärjestelmä ja liikennesuunnittelu
- rautatiet ja rautatietekniikka
- talous, liiketoiminta, johtaminen ja tiedonhallinta
- tietojenkäsittely ja tietotekniikka
- matematiikka ja tilastotiede.

Eniten viitteitä on liikennealan tunnettuihin tiedejulkaisuihin: Transportation Research Part B, A ja E, Transportation Research Record, Transport Policy ja Transportation Science. Kärkisijoilla on myös operaatioanalyysiin keskittynyt European Journal of Operational Research.

*Taulukko 4.5 Sarjajulkaisut, joihin on kirjallisuuskatsauksessa täysosumia tai merkittäviä osumia, sekä julkaisujen keskeiset aihepiirit.*

Julkaisun nimi		Osumat kirjallisuuskatsauksessa			Keskeiset aihepiirit													
		Viitteitä	Viiteiden vuodet	Täysosumia tai merkittäviä osumia	Liikennejärjestelmä, liikennesuunnittelu	Rautatietekniikka	Joukko-lienne	Rakennettu ympäristö, infrastruktuuri	Logistiikka	Talous, liiketoiminta, johtaminen, tiedonhallinta	Yhteiskunta, käyttäytymistieteet	Tietoliikenne, viestintä	Tietojenkäsittely, tietotekniikka	Matematiikka, tilastotiede	Kone-tekniikka, tuotantotekniikka	Sähkötekniikka, automaatio	Muut alat tai monialainen	
1	Transportation Research Part B: Methodological	23	1994, 1996, 1998, 1999, 2001, 2006–2008	11	x						x				x			
2	Transportation Research Part A: Policy and Practice (aiemmin: Transportation Research Part A: General)	15	1987, 1991, 1992, 1997–2003, 2007–2009	10	x						x							
3	Transportation Research Record	12	1995, 1999–2003, 2005–2008	8	x													
4	European Journal of Operational Research	11	1994, 1995, 2001–2004, 2006, 2008, 2009	7						x			x		x			
5	Transport Policy	7	1995–1997, 2000, 2001, 2004, 2007	5	x													
6	Transportation Science	7	1982, 1988, 1990, 1994, 1998, 2007, 2008	5	x					x								
7	Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review	6	2001, 2007–2009	3	x				x									
8	Rail International	6	1970, 1976, 1985, 1987, 1989	6		x												
9	Eisenbahningenieur	5	2000, 2004, 2005, 2007	4		x												
10	Ingegneria Ferroviaria	4	1980, 1985, 2006, 2008	3		x												
11	Networks and Spatial Economics	4	2009	3				x		x		x		x		x		
12	ZEVrail - Glaser's Annalen (aiemmin: Zeitschrift fuer Eisenbahnwesen und Verkehrstechnik - Glaser's Annalen)	4	1991, 2005, 2006, 2008	3		x												
13	Journal of Advanced Transportation	4	1998, 1999, 2003	2	x													
14	Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit	4	2001, 2004, 2006, 2008	2		x	x									x		
15	Zhongguo Tiedao Kexue / China Railway Science	4	2004, 2005, 2007, 2008	2		x												
16	Tiedao Xuebao / Journal of the China Railway Society	3	2006–2008	2		x				x								
17	Transportation Planning and Technology	3	1995, 1996, 2006	1	x			x		x	x			x	x			
18	Computers & Operations Research	2	1997, 2003	2						x								
19	ETR - Eisenbahntechnische Rundschau	2	1981, 1990	2		x												
20	International Journal of Quality & Reliability Management	2	2007, 2008	2						x						x		
21	Journal of the Operational Research Society	2	1997, 2000	2						x								
22	Journal of Transport Economics and Policy	2	1997, 2002	2	x				x									
23	Journal of Transportation Engineering	2	1984, 1989	2	x			x						x				
24	Lecture Notes in Computer Science	2	2004, 2005	2										x				
25	Quarterly Report of RTRI (Railway Technical Research Institute)	2	1981, 1998	2		x												
26	Transport Reviews	2	2002, 2006	2	x									x	x			x
27	Wuli Xuebao / Acta Physica Sinica	2	2006, 2007	2										x				
28	IET Electric Power Applications (vuoteen 2007: IEE Proceedings Electric Power Applications)	2	1997, 2001	1													x	
29	International Transactions in Operational Research	2	1998, 2004	1						x								
30	Journal of Services Marketing	2	1995, 2002	1						x								
31	Public Transport International	2	1990, 2007	1			x											
32	Reliability Engineering & System Safety	2	2003, 2007	1						x		x				x		
33	Research in Transportation Economics	2	2004, 2008	1						x								
34	Transportation Research Part C: Emerging Technologies	2	2008	1	x			x		x	x			x				
35	Advances in Transport	1	2004	1	x													
36	Chemical Week	1	2002	1														x
37	Cognition, Technology & Work	1	2006	1								x						
38	Corporate Communications: An International Journal	1	2008	1						x		x						
39	Discrete Event Dynamic Systems: Theory and Applications	1	2001	1						x				x	x		x	
40	Engineering Applications of Artificial Intelligence	1	2000	1						x				x	x		x	
41	Government Information Quarterly	1	2008	1						x	x	x		x				x
42	IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems	1	2007	1	x					x				x			x	
43	International Business Review	1	2004	1						x								
44	International Journal of Transport Management	1	2004	1	x					x								
45	Japanese Railway Engineering	1	1983	1		x												
46	Journal of Transport Geography	1	2008	1	x							x						
47	JSME International Journal, Series C: Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing	1	2004	1												x		
48	Managerial and Decision Economics	1	1991	1						x								
49	Physica A: Statistical Mechanics and its Applications	1	2007	1											x			x
50	Production Planning and Control	1	2005	1						x						x		
51	Railway Gazette International	1	2006	1			x											x
52	Tourism Review	1	2001	1														
53	Transportation	1	1997	1		x			x		x							x
54	Utilities Policy	1	2005	1														
		176		124	18	11	2	5	1	26	7	3	11	9	5	4		6



Sarjajulkaisujen tyyppi- ja julkaisutietoja on esitetty taulukossa 4.6. Kirjallisuuskatsaukseen sisältyvistä 69 tiedejulkaisusta 54:ssä on käytössä vertaisarviointi eli refereekäytäntö, jossa artikkelit arvioi sekä sarjajulkaisun toimitus että sen valitsevat ulkopuoliset asiantuntijat.

Tieteellisten julkaisujen merkittävyyttä on pyritty kuvaamaan tilastollisilla tunnusluvuilla. Ne eivät kuitenkaan ole välttämättä tasapuolisia etenkin eri tieteenalojen ja erikielisten julkaisujen välillä, vaan suosivat tieteenaloja, joilla julkaistaan paljon ja tuoreeseen tutkimukseen viitataan paljon. Yleisesti käytössä on kuitenkin Thomson Scientificin ISI Web of Science -tietokantaan perustuva Journal citation reports (JCR) (Thomson Reuters 2009), jossa yhtenä tunnuslukuna on vaikuttavuuskerroin journal impact factor. Viime vuosina on tullut saataville myös toinen mittaristo, SCImago reseach groupin Journal & country rank (SCImago 2009), joka perustuu Elsevierin Scopus-tietokantaan ja jonka keskeinen tunnusluku on SCImago journal rank. Esimerkkejä eri julkaisusarjojen tunnusluvuista on taulukossa 4.6. Tunnuslukujen keskinäisiä eroja ovat arvioineet muun muassa Falagas et al. (2008).

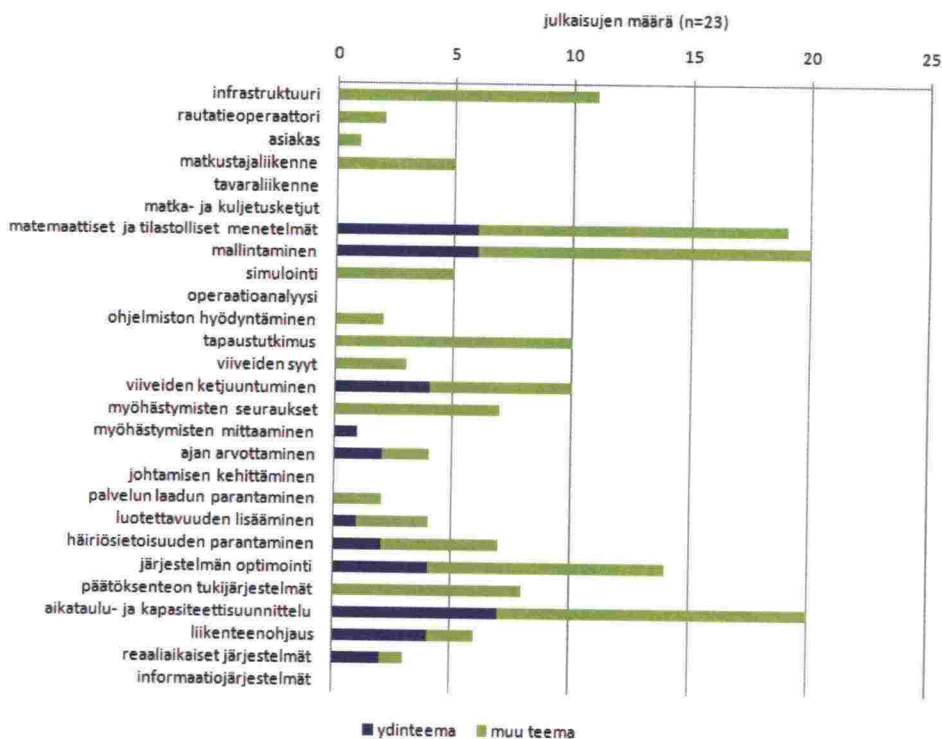
*Taulukko 4.6 Sarjajulkaisujen julkaisutietoja ja vaikuttavuuden arviointia. Mukana ovat julkaisut, joihin on kirjallisuuskatsauksessa täysosumia tai merkittäviä osumia. Julkaisujen järjestys on taulukon 4.5 mukainen.*

Julkaisun nimi	Tyyppi			Kustantaja ja maa	Vaikuttavuuden		Vaikuttavuuden arviointi /		
	Tiede-julkaisu (journal)	Vertais-arviointi (refereed)	Aikakaus-lehti (magazine)		5-year journal impact factor 2008	Sijoitus tässä taulukossa	Journal rank 2007	Sijoitus tässä taulukossa	Cited docs (3 years) 2007
1 Transportation Research Part B: Methodological	x	x		Pergamon, Britannia	2,593	3.	0,075	3.	73 %
2 Transportation Research Part A: Policy and Practice (aiemmin: Transportation Research Part A: General)	x	x		Pergamon, Britannia	2,384	5.	0,059	11.	68 %
3 Transportation Research Record	x	x		US National Research Council, Transportation Research Board, USA	0,560	26.	0,039	31.	26 %
4 European Journal of Operational Research	x	x		Elsevier, Alankomaat	2,084	7.	0,056	13.	61 %
5 Transport Policy	x	x		Pergamon, Britannia	1,763	12.	0,049	15.	59 %
6 Transportation Science	x	x		Institute for Operations Research and the Management Sciences, USA	2,821	2.	0,070	4.	72 %
7 Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review	x	x		Pergamon, Britannia	2,468	4.	0,060	9.	67 %
8 Rail International			x	Minirex, Belgia	-	-	-	-	-
9 Eisenbahningenieur			x	Eurailpress Tetzlaff-Hestra, Saksa	-	-	-	-	-
10 Ingegneria Ferroviaria			x	Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani, Italia	-	-	-	-	-
11 Networks and Spatial Economics	x			Springer New York, USA	1,526	15.	0,039	27.	46 %
12 ZEVrail - Glaser's Annalen (aiemmin: Zeitschrift fuer Eisenbahnen und Verkehrstechnik - Glaser's Annalen)			x	Georg Siemens Verlagsbuchhandlung, Saksa	-	-	-	-	-
13 Journal of Advanced Transportation	x	x		Institute for Transportation, Kanada	0,880	22.	0,039	30.	36 %
14 Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit	x	x		Professional Engineering Publishing, Britannia	0,606	25.	-	-	-
15 Zhongguo Tiedao Xue / China Railway Science	x			Zhongguo Tiedao Xue Yanjiuyuan, Kiina	-	-	0,045	20.	25 %
16 Tiedao Xuebao / Journal of the China Railway Society	x	x		Zhongguo Tiedao Xuehui	-	-	-	-	-
17 Transportation Planning and Technology	x	x		Taylor & Francis, Britannia	0,520	27.	-	-	-
18 Computers & Operations Research	x	x		Pergamon, Britannia	1,789	11.	0,062	8.	68 %
19 ETR - Eisenbahntechnische Rundschau			x	Eurailpress Tetzlaff-Hestra, Saksa	-	-	-	-	-
20 International Journal of Quality & Reliability Management	x	x		Emerald Group Publishing, Britannia	-	-	0,039	28.	45 %
21 Journal of the Operational Research Society	x	x		Palgrave Macmillan, Britannia	1,135	18.	0,044	21.	48 %
22 Journal of Transport Economics and Policy	x	x		University of Bath, Britannia	1,091	19.	0,047	18.	54 %
23 Journal of Transportation Engineering	x	x		American Society of Civil Engineers, USA	0,780	23.	0,045	19.	42 %
24 Lecture Notes in Computer Science	x	x		Springer, Saksa	-	-	0,038	34.	19 %
25 Quarterly Report of RTRI (Railway Technical Research Institute)	x			Ken-yusha, Japani	-	-	0,034	36.	10 %
26 Transport Reviews	x	x		Routledge, Britannia	1,157	17.	0,066	6.	56 %
27 Wuli Xuebao / Acta Physica Sinica	x	x		Zhongguo Wuli Xuehui, Kiina	1,023	21.	0,044	23.	33 %
28 IET Electric Power Applications (vuoteen 2007: IEE Proceedings Electric Power Applications)	x	x		The Institution of Engineering and Technology, Britannia	0,670	24.	0,060	10.	57 %
29 International Transactions in Operational Research	x	x		Wiley-Blackwell Publishing, Britannia	-	-	-	-	-
30 Journal of Services Marketing	x	x		Emerald Group Publishing, Britannia	-	-	0,038	33.	49 %
31 Public Transport International			x	International Union of Public Transport, Belgia	-	-	0,031	37.	1 %
32 Reliability Engineering & System Safety	x	x		Elsevier, Britannia	1,666	14.	0,063	7.	67 %
33 Research in Transportation Economics	x			Elsevier, Alankomaat	-	-	-	-	-
34 Transportation Research Part C: Emerging Technologies	x	x		Pergamon, Britannia	1,878	8.	0,066	5.	65 %
35 Advances in Transport	x	x		WIT Press, Britannia	-	-	-	-	-
36 Chemical Week			x	Access Intelligence, USA	-	-	-	-	-
37 Cognition, Technology & Work	x	x		Springer UK, Britannia	-	-	0,039	29.	41 %
38 Corporate Communications: An International Journal	x	x		Emerald Group Publishing, Britannia	-	-	0,044	22.	39 %
39 Discrete Event Dynamic Systems: Theory and Applications	x	x		Springer New York, USA	1,818	10.	-	-	-
40 Engineering Applications of Artificial Intelligence	x	x		Pergamon, Britannia ja Itävalta	1,851	9.	0,057	12.	63 %
41 Government Information Quarterly	x	x		Elsevier, Britannia	1,753	13.	0,043	25.	52 %
42 IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems	x	x		IEEE, USA	3,302	1.	0,106	1.	85 %
43 International Business Review	x	x		Pergamon, Britannia ja Belgia	-	-	0,042	26.	64 %
44 International Journal of Transport Management	x			Pergamon, Britannia	-	-	0,047	16.	60 %
45 Japanese Railway Engineering	x			Japan Railway Engineers Association, Japani	-	-	-	-	-
46 Journal of Transport Geography	x	x		Pergamon, Britannia	-	-	0,047	17.	58 %
47 JSME International Journal, Series C: Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing	x	x		Japan Society of Mechanical Engineers, Japani	0,375	28.	0,039	32.	18 %
48 Managerial and Decision Economics	x	x		John Wiley & Sons, Britannia	-	-	0,037	35.	36 %
49 Physica A: Statistical Mechanics and its Applications	x	x		Elsevier, Alankomaat	1,434	16.	0,079	2.	56 %
50 Production Planning and Control	x	x		Taylor & Francis, Britannia	1,045	20.	-	-	-
51 Railway Gazette International			x	Reed Business Information, Britannia	-	-	-	-	-
52 Tourism Review	x			Emerald Group Publishing, Britannia ja Sveitsi	-	-	-	-	-
53 Transportation	x	x		Springer New York, USA	2,105	6.	0,052	14.	61 %
54 Utilities Policy	x	x		Pergamon, Britannia	-	-	0,044	24.	31 %
	46	39	8						



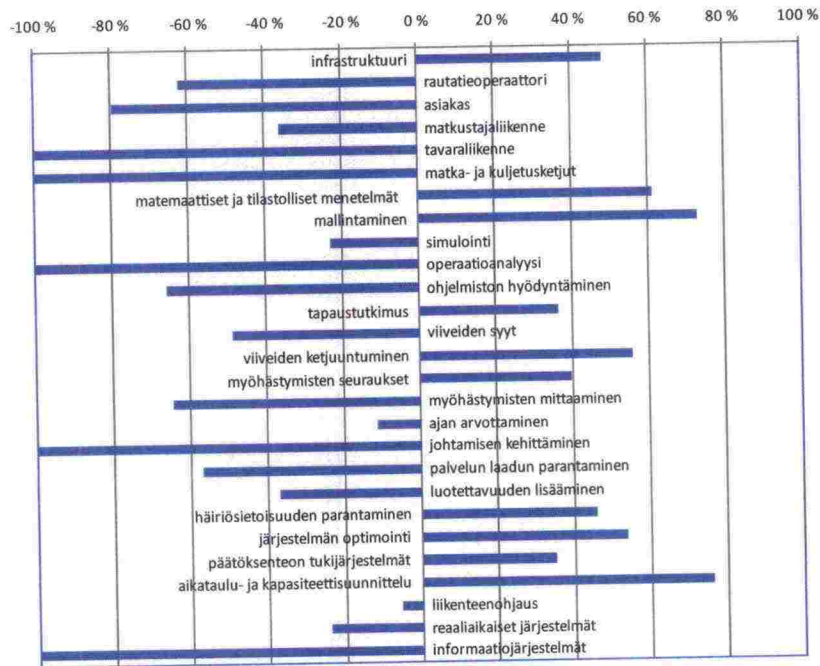
Sekä JCR:n 5-year journal impact factor 2008 -mittarilla että SCImagon journal rank 2007 -mittarilla 15 kärkijulkaisun joukossa oli 12 samaa sarjajulkaisua. Ensimmäiselle sijalle sijoittui molemmilla mittareilla IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems (taulukossa: nro 42). Sen jälkeen sijoittuivat Transportation Research Part B: Methodological (nro 1) ja Transportation Science (nro 6), Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review (nro 7) ja Part C: Emerging Technologies (nro 34).

**Transportation Research Part B** -julkaisun, tässä kirjallisuuskatsauksessa mukana olevissa 23 artikkelissa teemoina ovat eniten aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelu, matemaattiset ja tilastolliset menetelmät, mallintaminen ja järjestelmän optimointi (kuva 4.12). Näiden teemojen suhteellinen osuus on myös suurempi kuin kirjallisuuskatsauksen aineistossa keskimäärin (kuva 4.13).



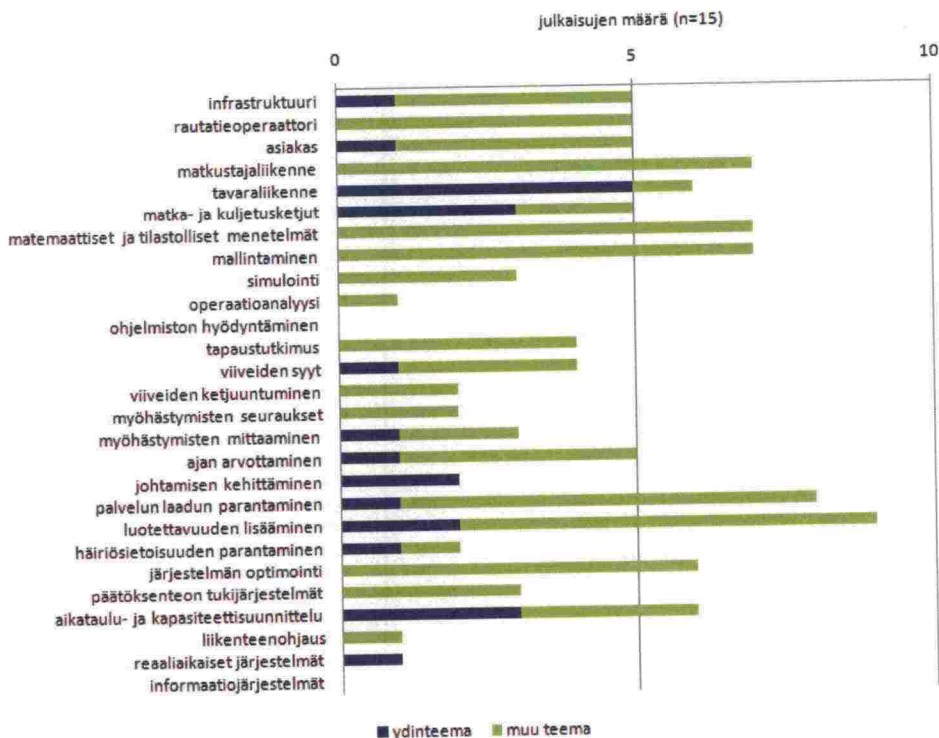
Kuva 4.12 Teemat, joita on käsitelty kirjallisuuskatsaukseen sisältyvissä Transportation Research Part B -julkaisun 23 artikkelissa.

Artikkeleissa ei ole käsitelty lainkaan tavaraliikennettä, matka- ja kuljetusketjuja, operaatioanalyysiä, johtamisen kehittämistä ja informaatiojärjestelmiä. Liikennejärjestelmän osa -teemaryhmää on käsitelty keskimääräistä vähemmän lukuun ottamatta infrastruktuuria.



Kuva 4.13 *Transportation Research Part B* -julkaisun artikkelien teemojen erot verrattuna kirjallisuuskatsauksen aineiston keskiarvoon.

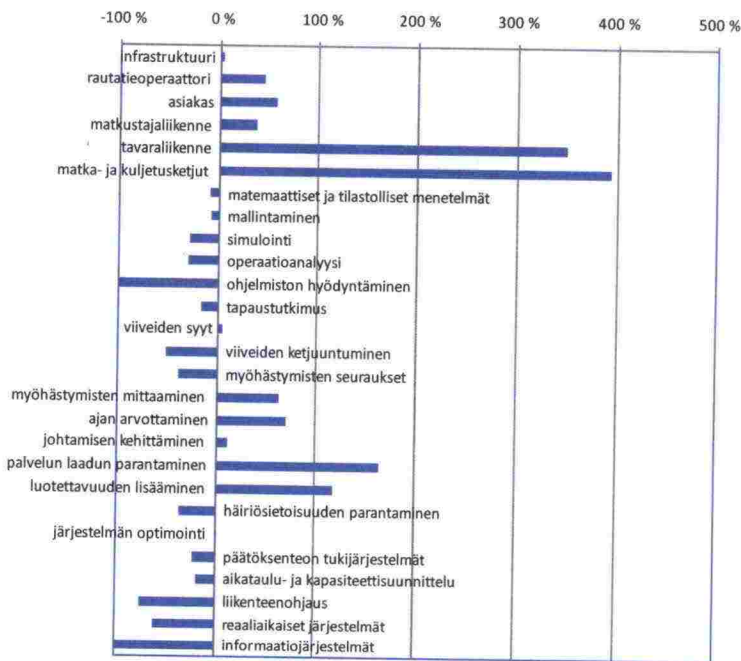
**Transportation Research Part A** -julkaisun 15 artikkelissa on käsitelty eniten teemoja luotettavuuden lisääminen ja palvelun laadun parantaminen (kuva 4.14). Ydinteemoista eniten on käsitelty tavaraliikennettä, matka- ja kuljetusketjuja ja aikataulu- ja kapasiteetisuunnittelua. Ohjelmiston hyödyntäminen ja informaatiojärjestelmät eivät ole lainkaan esillä artikkeleissa.



Kuva 4.14 *Teemat, joita on käsitelty kirjallisuuskatsaukseen sisältyvissä Transportation Research Part A* -julkaisun 15 artikkelissa.

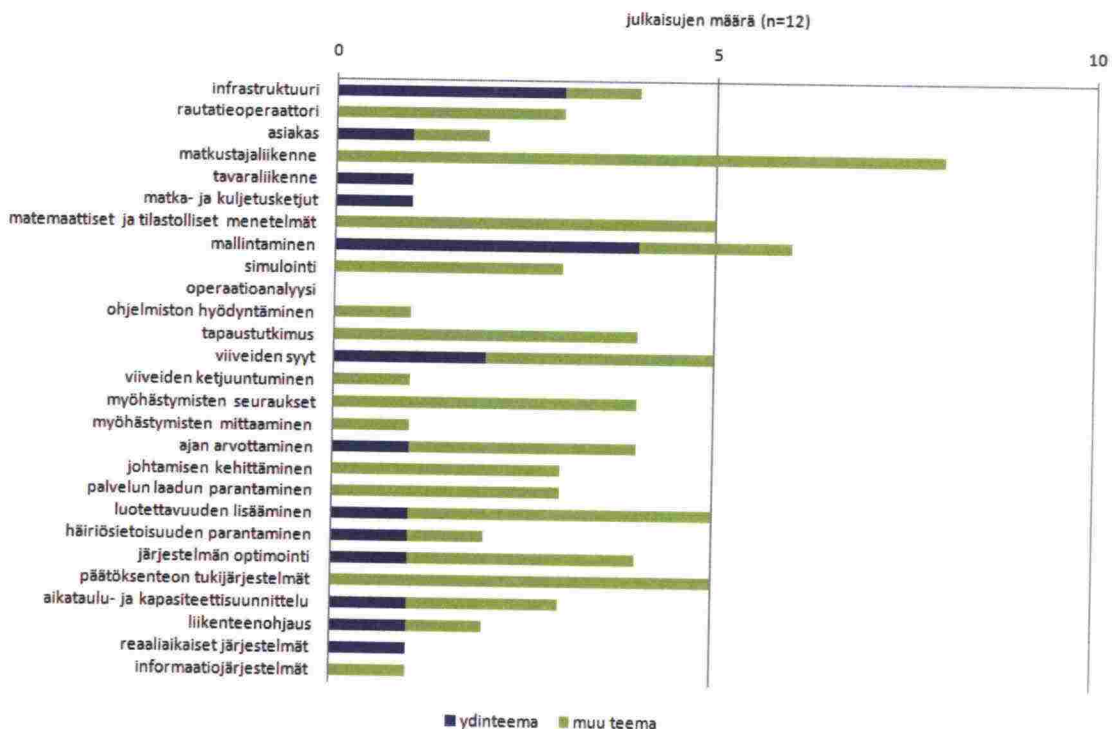


Matka- ja kuljetusketjuja, tavaraliikennettä, palvelun laadun parantamista ja luotettavuuden lisäämistä on myös käsitelty selvästi enemmän kuin kirjallisuuskatsauksen aineistossa keskimäärin (kuva 4.15).



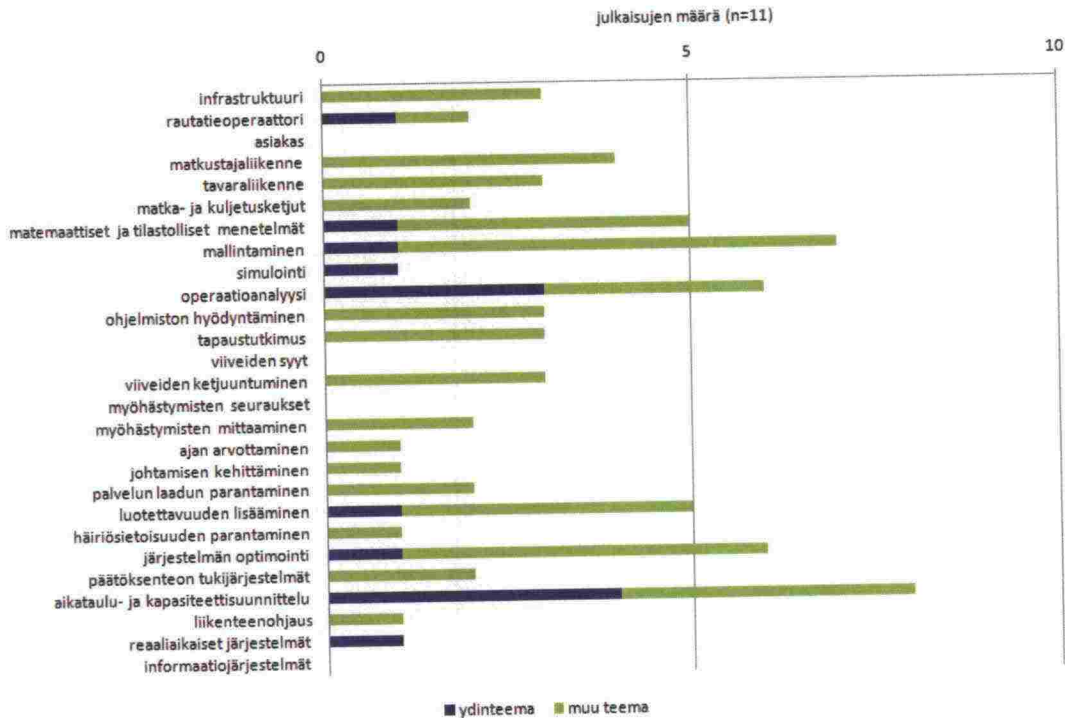
Kuva 4.15 Transportation Research Part A -julkaisun artikkelien teemojen erot verrattuna kirjallisuuskatsauksen aineiston keskiarvoon.

Transportation Research Record -julkaisussa teemoista on esillä eniten matkustajaliikenne, mutta se ei ole ydinteemana yhdessäkään artikkelissa (kuva 4.16). Ydin-teemoina on käsitelty eniten mallintamista ja infrastruktuuria.



Kuva 4.16 Teemat, joita on käsitelty kirjallisuuskatsaukseen sisältyvissä Transportation Research Record -julkaisun 12 artikkelissa.

**European Journal of Operational Research** -julkaisussa on käsitelty eniten aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelua, mallintamista, operaatioanalyysiä ja järjestelmän optimointia (kuva 4.17). Yleisimmät ydinteemat ovat aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelu ja operaatioanalyysi. Artikkeleiden teemoina eivät ole lainkaan olleet asiakas, viiveiden syyt, myöhästymisten seuraukset eivätkä informaatiojärjestelmät.



Kuva 4.17 Teemat, joita on käsitelty kirjallisuuskatsaukseen sisältyvissä *European Journal of Operational Research* -julkaisun 11 artikkelissa.

Julkaisun aihepiirin mukaisesti operaatioanalyysi on ollut teemana selvästi useammin kuin kirjallisuuskatsauksen aineistossa keskimäärin. Myös tavaraliikennettä ja matka- ja kuljetusketjuja on käsitelty keskimääräistä enemmän.

**Transport Policy** -julkaisun 7 artikkelissa korostuu teema palvelun laadun parantaminen; se on myös usein ydinteemana. Myös matkustajaliikennettä ja asiakasnäkökulmaa käsitellään melko paljon. Kirjallisuuskatsauksen aineistoon verrattaessa korostuu erityisesti myöhästymisten mittaamisen teema, vaikka se ei ole kertaakaan ydinteemana. **Transportation Science** -julkaisun 7 artikkelissa käsitellään eniten mallintamista ja matemaattisia ja tilastollisia menetelmiä. Ydintemoista ovat eniten esillä mallintaminen ja liikenteenohjaus. Teemoja rautatieoperaattori, tavaraliikenne, ohjelmiston hyödyntäminen ja informaatiojärjestelmät ei käsitellä lainkaan. *Transportation Research Part E* -julkaisun kuuden artikkelin aiheet jakautuvat eri teemoihin, eikä mikään teema korostu erityisesti.

#### 4.6 Konferenssit

Tässä yhteydessä konferensseina on käsitelty tapahtumia, joiden nimissä on termi *conference*, *congress* tai *symposium* ja joissakin tapauksissa myös *workshop* tai *seminar*. Kirjallisuuskatsauksen aineistossa on 102 konferenssijulkaisujen artikkelia, jotka liittyvät 37 konferenssiin (taulukko 4.7). Näistä täysosumiksi on luokiteltu 32 artikkelia ja merkittäviksi osumiksi samoin 32 artikkelia; nämä artikkelit liittyvät 25 konferenssiin.



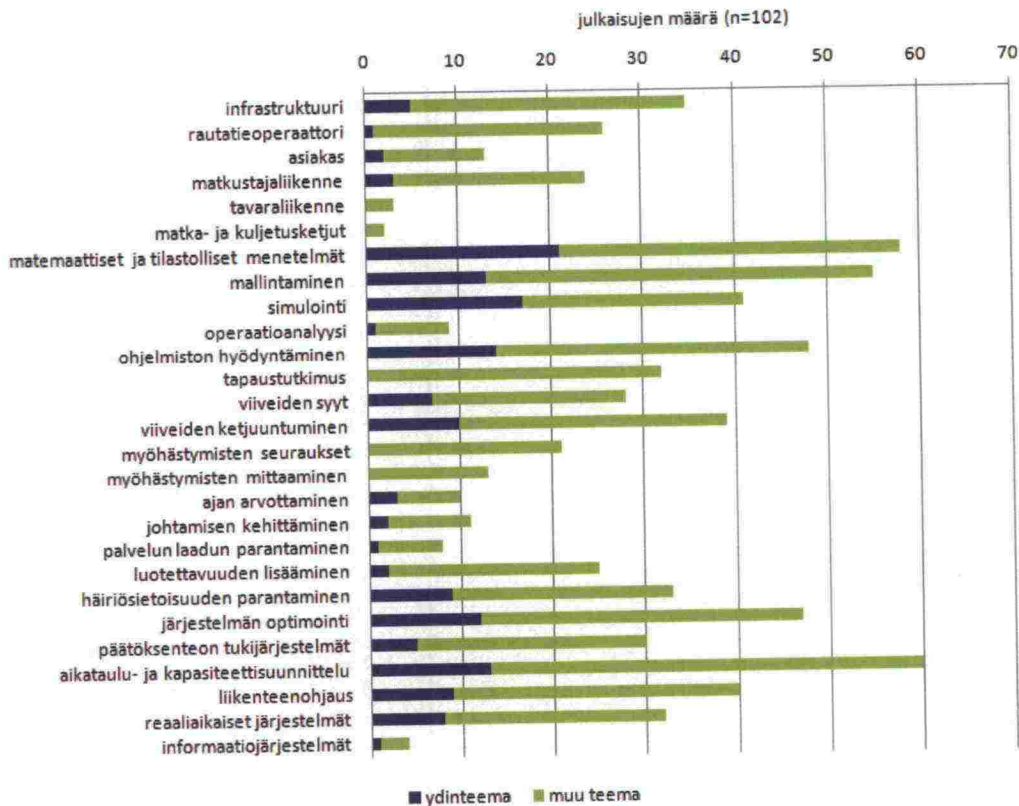
*Taulukko 4.7 Konferenssit, joihin on kirjallisuuskatsauksessa täysosumia tai merkittäviä osumia.*

Lyhenne	Tapahtuman nimi	Tapahtumahistoriaa	Osumat kirjallisuuskatsauksessa			Aihepiiri
			Viitteitä	Viitteiden vuodet	Täysosumia tai merkittäviä osumia	
COMPRAIL	International Conference on Computer System Design and Operation in the Railway and other Transit Systems	joka toinen vuosi; 2010 (12. kerta) Peking; 2008 Toledo; 2006 Praha	46	2008, 2006, 2004, 2000, 1998, 1996	29	tietokoneisiin perustuvat järjestelmät; rautatiet
ATMOS	Workshop on Algorithmic Approaches For Transportation Modelling, Optimization and Systems	vuosittain; 2009 (9.) Kööpenhamina; 2008 Karlsruhe; 2007 Sevilla	6	2004, 2002	5	algoritmit, mallinnus, optimointi; rautatiet
ICTTS	International Conference on Traffic and Transportation Studies	joka toinen vuosi; 2010 (7.) Kunming; 2008 Nanning; 2006 Xian	4	2006, 2002, 2000, 1998	3	liikennetekniikka
ICTE	International Conference on Transportation Engineering	joka toinen vuosi; 2009 (2.) Chengdu; 2007 Chengdu	3	2007	2	liikennetekniikka
JRC	IEEE/ASME (IEEE/ASME/ASCE; ASME) Joint Rail Conference	vuosittain; 2010 Urbana-Champaign; 2009 Pueblo; 2008 Wilmington	3	2004, 2003, 2002	2	rautatietekniikka
ITSC	International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems	vuosittain; 2009 (12.) St. Louis; 2008 Peking; 2007 Seattle	2	2008, 2001	2	älykkäät liikennejärjestelmät
RAMS	Annual Reliability and Maintainability Symposium	vuosittain; 2010 (56.) San Jose; 2009 Fort Worth; 2008 Las Vegas	2	1997, 1979	2	luotettavuus, kunnossapito, laatu, järjestelmäturvallisuus
TRAIL Congress	TRAIL Congress (TRAIL Research School)	joka toinen vuosi; 2008 (10.) Rotterdam	2	2004, 2000	2	liikennetekniikka, logistiikka
CIMCA	International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation	2008 Wien; 2006 Sydney; 2005 Wien	2	2005, 2006	1	laskennallinen äly, mallinnus, säätötekniikka, automaatio
ISADS	International Symposium on Autonomous Decentralized Systems	joka toinen vuosi; 2009 Ateena; 2007 Sedona (USA)	2	1997	1	hajautetut järjestelmät
TENCON	IEEE Region 10 Conference [TENCON] on Computer, Communication, Control and Power Engineering		2	1993	1	tietotekniikka; säätötekniikka; voimalaistekniikka
WSC	Winter Simulation Conference	vuosittain; 2009 Austin (USA)	2	2001, 1998	1	simulointi
AAC	American Control Conference		1	2004	1	säätötekniikka
CAIA	IEEE Conference on Artificial Intelligence Applications		1	1991	1	tekoäly
COCOA	International Conference on Combinatorial Optimization and Applications		1	2008	1	kombinatorinen optimointi
Computing in civil engineering	International Computing Congress on Computing in Civil Engineering		1	1998	1	tietotekniikka; rakennustekniikka
Developments in Mass Transit	International Conference on Developments in Mass Transit		1	1998	1	joukkoliikenne
ICVES	IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety	vuosittain; 2010 Qingdao; 2009 Pune (Intia); 2008 Columbus (USA)	1	2007	1	ajoneuvoelektroniikka, ajoneuvoturvallisuus
ISTAS	International Symposium on Technology and Society	2010 Wollongong; 2009 Tempe (USA); 2008 Fredericton (Kanada)	1	2007	1	tekniikan yhteiskunnalliset vaikutukset
Transportation Congress	Transportation Congress		1	1995	1	liikennetekniikka
URBAN TRANSPORT	International Conference on Urban Transport and the Environment in the 21st Century	vuosittain; 2010 (16.) Kypros; 2009 Bologna; 2008 Malta	1	2007	1	joukkoliikenne, kaupunkiliikenne
WCRR	World Congress on Railway Research	2011 (9.) Lille; 2008 (8.) Soul; 2006 (7.) Montréal	1	2006	1	rautatiet
WiCom	International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing	vuosittain; 2010 (6.) Chengdu; 2009 Peking; 2008 Dalian	1	2007	1	langaton tietoliikenne ja tietotekniikka

Ylivoimaisesti eniten viitteitä liittyy COMPRAIL-konferenssiin, yhteensä 46. Syynä lienee se, että täsmällisyystutkimuksessa keskeisiä aiheita ovat matemaattisten menetelmien, mallintamisen, ohjelmistojen ja simuloinnin hyödyntäminen erityisesti aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelun ja liikenteenohjauksen tietojärjestelmien kehittämisessä ja optimoinnissa.

COMPRAIL-konferenssin artikkeleissa korostuvat konferenssin aihepiirien mukaisesti tarkastelumenetelmistä ohjelmiston hyödyntäminen ja simulointi, näkökulmista viiveiden ketjuuntuminen, kehitystavoitteista häiriöherkkyyden vähentäminen ja kehitettävistä järjestelmistä informaatiojärjestelmät, reaaliaikaiset järjestelmät ja liikenteenohjaus. Myös aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelua on käsitelty enemmän kuin koko aineistossa keskimäärin. Selvästi koko aineistoa vähemmän konferenssissa on käsitelty matkustaja- ja tavaraliikenteen, matka- ja kuljetusketjujen ja asiakkaan näkökulmaa sekä ajan arvottamista ja palvelun laadun parantamista.

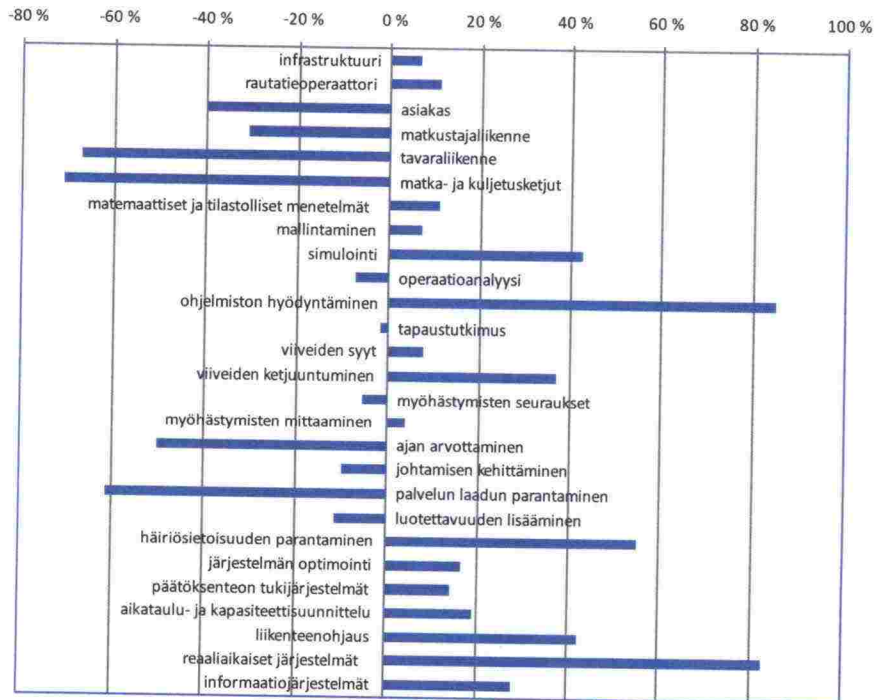
Kaikissa konferenssijulkaisujen artikkeleissa käsiteltyjen teemojen jakauma ja poikkeamat koko kirjallisuuskatsauksen aineistosta ovat pääpiirteissään samansuuntaisia kuin COMPRAIL-konferenssin artikkeleissa, jotka muodostavat 45 prosenttia konferenssijulkaisujen aineistosta. Konferenssijulkaisujen artikkelien teemat on esitetty kuvassa 4.18. Käsitellyimmät teemat ovat reaaliaikaiset järjestelmät, matemaattiset ja tilastolliset menetelmät, mallintaminen, ohjelmiston hyödyntäminen ja järjestelmän optimointi.



Kuva 4.18 Konferenssijulkaisujen artikkelien teemat.



Tarkastelunäkökulmana konferenssijulkaisujen artikkeleissa ovat koko kirjallisuuskatsauksen aineistoa selvästi useammin ohjelmiston hyödyntäminen, simulointi, informaatiojärjestelmät, reaaliaikaiset järjestelmät, liikenteenohjaus, häiriöherkkyyden vähentäminen ja viiveiden ketjuuntuminen. Konferensseissa on käsitelty selvästi vähemmän matkustaja- ja tavaraliikennettä, matka- ja kuljetusketjuja, asiakasnäkökulmaa, ajan arvottamista ja palvelun laadun parantamista. Konferenssijulkaisujen artikkelien teemojen poikkeama kirjallisuuskatsauksen koko aineiston teemoista on esitetty kuvassa 4.19.



Kuva 4.19 Konferenssijulkaisujen artikkelien teemojen poikkeama kirjallisuuskatsauksen koko aineiston teemoista.

COMPRAIL-konferenssin ja kaikkien konferenssijulkaisujen aineistojen poikkeamat koko kirjallisuuskatsauksen aineistosta muistuttavat hyvin paljon toisiaan. COMPRAIL-artikkeleissa informaatiojärjestelmiä, ajan arvottamista ja palvelun laadun parantamista käsitellään kuitenkin selvästi vähemmän kuin kaikissa konferenssiartikkeleissa keskimäärin.

### *Liikennejärjestelmälähtöisen rautateiden täsmällisyystutkimuksen esittelyfoorumit*

Kirjallisuuskatsauksessa on osuvia vain osaan alan konferensseista. Siksi kirjallisuuskatsauksen aineistosta sekä eri tutkijoiden ja tutkimusorganisaatioiden julkaisu- ja linkkiluetteloista on poimittu rautateihin tai liikennejärjestelmään liittyviä konferensseja, joiden aihepiirit kattavat rautatieliikenteen täsmällisyyden (taulukko 4.8). Nämä ovat potentiaalisia foorumeja liikennejärjestelmälähtöisen rautateiden täsmällisyystutkimuksen esittelyyn.

Taulukko 4.8 Esimerkkejä konferensseista, jotka soveltuvat aihepiiriensä puolesta liikennejärjestelmälaajuisen rautateiden täsmällisyystutkimuksen esittelyyn.

Lyhenne	Tapahtuman nimi	Järjestävä taho	Osumia kirjallisuus-katsauksen aineistossa	Aihepiiri									
				Liikennejärjestelmäsuunnittelu	Rautatiet, rautatie- ja liikennetekniikka	Joukko-liikenne	Yhdyskunta- ja yhteiskunnan infrastruktuurit	Tekniikan ja yhteiskunnan vuorovaikutus	Taloustieteet, logistiikka	Käyttötieteet	Tietojärjestelmät, tietoliikenne	Matemaattiset menetelmät, mallinnus, simulointi, optimointi	Muu teknika
Liikennealan yleiskonferenssejä													
WCTR	World Conference on Transport Research	World Conference on Transport Research Society		X									
ITE Annual Meeting	ITE Annual Meeting and Exhibit	Institute of Transportation Engineers (ITE) (USA)		X									
TRB Annual Meeting	Transportation Research Board (TRB) Annual Meeting	TRB (USA)		X									
Trafikdage	Trafikdage på Aalborg Universitet	Aalborg Universitet		X									
ICTE	International Conference on Transportation Engineering	(Kiina)	X	X									
ICTTS	International Conference on Traffic and Transportation Studies	(Kiina)	X	X									
ETC	European Transport Conference	Association for European Transport (AET)		X					X				
TRAIL Congress	TRAIL Congress	TRAIL Research School (Alankomaat)	X	X						X			
Liikennealan konferenssit, joissa on matemaattinen tai tietotekninen painotus													
AATT	International Conference on Application of Advanced Technologies in Transportation			X			X				X	X	
ISTTT	International Symposium on Transportation and Traffic Theory			X								X	
ITSC	International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems	IEEE / Intelligent Transportation Systems Society (ITSS)	X	X							X		
ATMOS	Workshop on Algorithmic Approaches For Transportation Modelling, Optimization and Systems		X	X								X	
CTS	IFAC Symposium on Control in Transportation Systems			X							X	X	X
SOLI	IEEE International Conference on Service Operations and Logistics and Informatics	IEEE	X							X	X		
INSTR	International Symposium on Transportation Network Reliability			X			X					X	
IATBR	International Conference on Travel Behaviour Research	International Association for Travel Behaviour Research (IATBR)		X					X		X	X	
Rautatiealan yleiskonferenssit													
WCRR	World Congress on Railway Research		X			X							
JRC	IEEE/ASME (IEEE/ASME/ASCE) Joint Rail Conference		X			X							
ICRE	International Conference on Railway Engineering		X			X							
Rautatiealan konferenssit, joissa on matemaattinen tai tietotekninen painotus													
COMPRAIL	International Conference on Computer System Design and Operation in the Railway and other Transit Systems	Wessex Institute of Technology	X		X	X					X	X	
ISROR	International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis	(IAROR)			X							X	
Joukkoliikennekonferenssit													
URBAN	International Conference on Urban Transport and the Environment in the 21st Century	Wessex Institute of Technology	X			X							
CASPT	International Conference on Advanced Systems for Public Transport					X					X		
Tekniikan ja yhteiskunnan vuorovaikutusta käsittelevät konferenssit													
Infrastructure Systems	International conference on Infrastructure systems	Next Generation Infrastructures Foundation (NGInfra)					X						
ISTAS	International Symposium on Technology and Society	The IEEE Society on Social Implications of Technology (SSIT)	X						X				

Täsmällisyystutkimus eri näkökulmineen soveltuu esiteltäväksi sekä liikennealan että rautatiealan yleiskonferensseissa. Myös joukkoliikennekonferenssit sekä jotkin tekniikan ja yhteiskunnan vuorovaikutusta käsittelevät konferenssit ovat mahdollisia tutkimuksen esittelyfoorumeita. Monet konferenssit ovat painottuneet matemaattisiin menetelmiin tai tietoteknisiin sovelluksiin, mutta ne kattavat usein myös yleisempiä aihepiirejä, joissa matematiikka tai tietotekniikka on lähinnä viitekehysenä.



## 5 TÄSMÄLLISYYSTUTKIMUS LIIKENNEJÄRJESTELMÄN ERI OSIEN NÄKÖKULMASTA

### 5.1 Liikennejärjestelmä-teemaryhmän tutkimus

Rautatieliikennejärjestelmän voidaan katsoa koostuvan kolmesta isosta kokonaisuudesta: infrastruktuurista, operaattoreista ja asiakkaista. *Infrastruktuurilla* tarkoitetaan rataverkkoa – sisältäen alus- ja pohjarakenteet, ratarakenteet ja tekniset järjestelmät – sekä siihen liittyviä palveluita – sisältäen esimerkiksi verkon ylläpidon ja liikenteenohjauksen. *Operaattorit* ovat toimijoita, jotka hyödyntävät infrastruktuuria, eli liikennöivät kalustollaan rataverkolla ja hyödyntävät sen palveluita. *Asiakkaat* puolestaan ovat ihmisiä ja organisaatioita, jotka ostavat matkustus- ja kuljetuspalveluita operaattoreilta.

Koska rautatieliikennejärjestelmä muodostuu edellä mainituista kokonaisuuksista, on kukin niistä jollakin tasolla esillä myös silloin, kun tarkastellaan järjestelmän täsmällisyyttä. Tämän pääluvun alalukuihin 5.2 *Infrastruktuuri*, 5.3 *Rautatieoperaattori* ja 5.4 *Asiakas* on koottu sellaisia tutkimuksia, joissa jokin näistä kokonaisuuksista on nostettu erityiseksi tarkastelun kohteeksi.

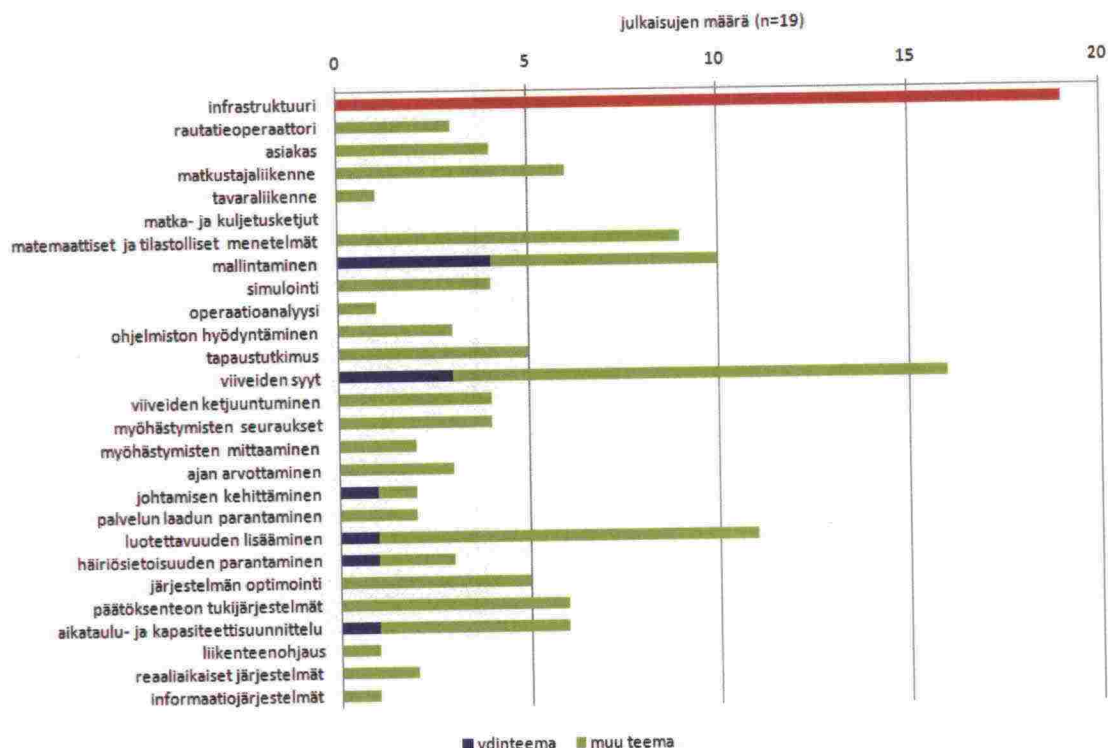
Toinen yleinen tapa luokitella rautatieliikennejärjestelmää on jakaa se *matkustaja-* ja *tavaraliikenteeseen*. Näistäkin vähintään toinen on kiinteänä osana tutkimuksia, joissa täsmällisyyttä tarkastellaan. Luvuissa 5.5 *Matkustajaliikenne* ja 5.6 *Tavaraliikenne* tarkastellaan tutkimuksia, joissa jompikumpi näistä näkökulmista on erityisen huomion kohteena.

Sekä matkustaja- että tavaraliikenteen virroista voi muodostua ketjuja, jos matkaan tai kuljetukseen liittyy junamatkan lisäksi muita kulkumuotoja. Tällaisia ketjuja tarkastelevia tutkimuksia on käsitelty luvussa 5.7 *Matka- ja kuljetusketjut*.

### 5.2 Infrastruktuuri

Tässä luvussa tarkastellaan kirjallisuutta, jossa tutkitaan täsmällisyyden riippuvuutta infrastruktuurista. Näissä julkaisuissa tutkimusongelmana voi olla esimerkiksi se, kuinka rataverkon kunto vaikuttaa täsmällisyyteen. Tässä kirjallisuuskatsauksessa esitellyistä julkaisuista on havaittavissa muutamia infrastruktuurin liittyviä näkökulmia; tällaisia ovat muun muassa kunnossapito ja sivuraiteiden sijoittelu yksiraiteisella verkolla.

Kuvassa 5.1 on esitetty tässä kirjallisuuskatsauksessa esiintyvien infrastruktuuria käsittelevien julkaisujen ja muiden luokittelussa mukana olleiden teemojen yhteys.



Kuva 5.1 Ydinteeman INFRASTRUKTUURI kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat.

Infrastruktuuri on keskeisenä näkökulmana, ydinteemana, 19 julkaisussa. Näissä julkaisuissa teemana ovat usein myös viiveiden syyt. Infrastruktuuria käsittelevässä tutkimuksessa on kuvan 5.1 mukaan käytetty menetelminä mallintamista ja matemaattisia ja tilastollisia menetelmiä. Luotettavuus on myös teema, jota tutkitaan kirjallisuuden perusteella infrastruktuuriin liittyvässä täsmällisyystutkimuksessa. Havainnot näiden 19 artikkelin analyysistä tukevat kuvassa 5.1 esitettyä jakaumaa.

Raportin liitteenä on luettelo infrastruktuuri-teemaa käsittelevistä julkaisuista. Mukana on 59 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus).

### 5.2.1 Sivuraiteiden määrän ja sijainnin mallintaminen

HIGGINS & KOZAN & FERREIRA. JOURNAL ARTICLE 1997.

#### MODELLING THE NUMBER AND LOCATION OF SIDINGS ON A SINGLE LINE RAILWAY

Higgins et al. (1997) tarkastelevat mallia, jonka avulla voidaan määritellä yksiraiteisella verkolla tarvittavien sivuraiteiden määrä, liikenteen kysynnän ollessa vakio. Sivuraiteiden lukumäärällä ja sijainnilla on kirjoittajien mukaan merkittävä vaikutus sekä asiakkaiden kokemaan palveluun että rautateiden kannattavuuteen. Sivuraiteiden oikean sijoittelun ja lukumäärän avulla voidaan pyrkiä minimoimaan sekä viiveiden riski, että viiveet, jotka aiheutuvat junien kohtaamisista. Mallin olennaisin ominaisuus on sen mahdollisuus muutella junien nopeuksia ja sisällyttää poikkeavia lähtöaikoja.

Uutta esitetyssä mallissa on se, että sivuraiteiden paikka määritellään samanaikaisesti optimaalisen aikataulun kanssa. Tällä tavoin saadaan aikaiseksi sekä paras mahdollinen



sijainti sivuraiteille sekä niihin sopiva aikataulurakenne. Tarkastelussa otetaan huomioon matka-aika sekä junien saapumisen luotettavuus.

Artikkelissa otetaan huomioon myös sivuraiteiden rakentamisesta aiheutuvat kustannukset ja verrataan näitä saataviin hyötyihin. Tutkimuksen tulosten perusteella mallin avulla voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä operointikustannuksissa.

Numeeriset, todelliseen aikatauluun perustuvat tulokset osoittivat, että mallin avulla tehty sivuraiteiden suunnittelu paransi merkittävästi kohtaamisviiveitä ja viiveiden riskiä. Simuloinnin avulla on kuvattu kuinka hyvin mallia voidaan käyttää sivuraiteiden lukumäärän määrittelemiseen halutulla palvelutasolla. Artikkelin painottuu sivuraiteiden suunnitteluun sekä mallin kuvaamiseen. Viiveiden minimointi on siinä keskeinen tavoite, mutta aiheeseen ei muuten paneuduta syvällisemmin.

Artikkelissa on viitattu muun muassa seuraaviin julkaisuihin:

- Higgins, A. & Ferreira, L. & Kozan, E. 1995. Modelling delay risks associated with train schedules. (Higgins et al. 1995)
- Higgins, A. 1996. Optimisation of train schedules to minimise transit time and maximise reliability. Ph.D. Thesis, Faculty of Science, Queensland University of Technology.

### 5.2.2 *Täsmällisyyttä infrastruktuurin näkökulmasta käsitteleviä muita julkaisuja*

FERREIRA. JOURNAL ARTICLE 1997.

#### **RAIL TRACK INFRASTRUCTURE OWNERSHIP: INVESTMENT AND OPERATIONAL ISSUES**

Monessa maassa on rautatiejärjestelmän yksityistäminen muuttanut toimintakenttää ja erottanut radanpitäjän ja operaattorin toisistaan. Ferreira (1997b) käsittelee tavaraliikenteen näkökulmasta yksityistämiseen liittyvää kolmea merkittävää ongelmaa; investointien arviointia, radan kunnossapitoa sekä operoinnin suorituskykyä. Artikkelissa pohditaan eri toimijoiden välisiä ristiriitoja sekä tuodaan esiin kapasiteettiin ja verkon ruuhkautumiseen liittyvät kustannukset.

Kustannusten mallintamiseen Ferreira käyttää matka-ajan luotettavuutta, ottaen huomioon, että junien lisääminen kasvattaa viiveiden riskiä. Artikkelissa todetaan, että rautatieverkolla tehtävien investointien tulee olla perusteltuja kokonaistaloudellisesti sekä operaattorin, että rataverkon omistajan asiakaspalvelustrategioiden mukaan.

Teemaa on artikkelissa tarkasteltu Australian tavaraliikenteen näkökulmasta. Lisäksi siinä esitellään erilaisia radanpidon malleja eri maista. Lopuksi Ferreira kuvaa aikataulu- ja luotettavuusmallia, jota voidaan käyttää junien palveluiden aiheuttamien kustannusten arviointiin.

FERREIRA & HIGGINS. CONFERENCE PROCEEDINGS 1998.

#### **SCHEDULING RAIL TRACK MAINTENANCE**

Kunnossapidossa voidaan saavuttaa merkittävää tuottavuuden kasvua investointikustannusten kautta, sekä itse kunnossapidossa että siirtämällä rataosia korkeampaan kunnossapitoluokkaan. Ferreira ja Higgins (1998) kuvaavat kunnossapidon aikataulutusongelmaa, jota lähestytään ohjelmointimallin avulla. Malli sisältää kunnossapitotöiden

jakamisen niille varatuille aikaikkunoille sekä työvoiman jakamisen eri projekteille. Mallia on mahdollista käyttää ajantasaisesti, niin että junaliikenteen häiriöt voidaan ottaa kunnossapidon suunnittelussa huomioon.

Tapaustutkimuksella on osoitettu, että aikaikkunan kasvattaminen siirtämällä vähemmän tärkeitä junia näyttää vähentävän mahdollisia viiveitä merkittävästi.

CUEVAS & VEGA & PUSCHMANN. JOURNAL ARTICLE 2008.

**OVERHEAD CONTACT LINE MAINTENANCE FOR THE MADRID-LÉRIDA HIGH-SPEED LINE**

Cuevas et al. (2008) kuvaavat espanjalaisen suurnopeusjunalinjan liikennöintiä ja viiveiden ilmenemistä linjalla. Espanjalaisen yhtiön RENFE:n liikennöimällä linjalla, Madridista Barcelonaan, on käytössä menettelytapa, jonka mukaan rautatieoperaattori maksaa osan matkustajien matkan hinnasta takaisin aina myöhästymisten yhteydessä. Operaattori olettaa radanpitäjän varmistavan samanaikaisesti, että rataverkko säilyy liikennöitävänä. Kunnossapito on merkittävä osa tätä rataverkon liikennöitävyyden takaamista. Tätä kautta kunnossapidolla voidaan myös vaikuttaa viiveiden aiheuttamiin kustannuksiin.

DURE. JOURNAL ARTICLE 1999.

**MAXIMIZING OPERATING RELIABILITY IN DESIGN OF LONG SINGLE-TRACK LIGHT RAIL TRANSIT LINES**

Artikkelissa käsitellään kevyttä raideliikennettä. Tarkastelussa on määrätty yksiraiteinen rataosa, jolle toisen raiteen lisääminen olisi kallista. Yksiraiteisuus aiheuttaa pitkällä rataosuudella ongelmia muun muassa liikennöinnille. Yksiraiteisen osan pituuden kasvaessa myös viiveiden ja niiden heijastumisen todennäköisyys kasvaa.

Dure (1999) kuvaa menetelmän ohituspaikkojen paikantamiseen, niin että ketjuuntuvat viiveet (*cascading delays*) vähenevät. Simuloinnin perusteella on todettavissa, että pitkäkin yksiraiteinen osuus on suunniteltavissa niin, että viiveiden ketjuuntuminen vältetään. Artikkelissa Dure kuitenkin huomauttaa sivuraiteiden suunnittelun olevan haasteellista, sillä toteutetut sivuraiteet ovat pysyviä rakenteita, eikä niiden muuttaminen ole myöhemmin mahdollista.

OLSSON. JOURNAL ARTICLE 2006.

**IMPACT ANALYSIS OF RAILWAY PROJECTS IN A FLEXIBILITY PERSPECTIVE**

Olsson (2006) tarkastelee tapaustutkimuksen avulla erilaisten rataverkon investointihankkeiden liikenteellisiä vaikutuksia. Siinä on tarkasteltu neljää norjalaista hanketta, erityisesti keskittyen hankkeiden vaikutuksiin täsmällisyyteen, matka-aikaan, liikenteen tiheyteen, kustannuksiin ja matkustajamääriin. Kaikissa hankkeissa täsmällisyys parani, tosin ei aina odotetusti.

Artikkelissa on viitattu B. Flyvbjergin julkaisuihin. Hän tarkastelee omissa tieteellisissä julkaisuissaan rautatieinvestointihankkeita sekä tapaustutkimusta.



FOTEA. JOURNAL ARTICLE 1976.

**DETERMINATION OF THE NUMBER OF RECEPTION SIDINGS, HAVING REGARD TO THE PROBABILITY OF DELAYS TO TRAINS**

Fotea (1976) käsittelee järjestelyratapihan tuloaiteiden (*reception sidings*) oikeaa määrää junille aiheutuvien viiveiden näkökulmasta.

VEISETH & OLSSON & SAETERMO. CONFERENCE PROCEEDINGS 2007.

**INFRASTRUCTURE'S INFLUENCE ON RAIL PUNCTUALITY**

Weiseth et al. (2007) tarkastelevat infrastruktuuriin ja liikennöintiin liittyvän datan yhdistämistä muun muassa viiveiden primäärisyiden arviointia varten Tätä tietoa voidaan hyödyntää priorisoitaessa rataverkon kehitys- ja ylläpitotoimia sekä määriteltäessä tehtyjen toimenpiteiden vaikutuksia. Artikkelia on käsitelty luvussa 7.2 Viiveiden syyt.

LINDFELDT. CONFERENCE PROCEEDINGS 2006.

**INFLUENCES OF STATION LENGTH AND INTER-STATION DISTANCE ON DELAYS AND DELAY PROPAGATION ON SINGLE-TRACK LINES WITH REGIONAL RAIL TRAFFIC**

Lindfeldtin (2006) mukaan yksiraiteisilla rataosilla junaliikenne hidastuu kohtaamisista johtuen. Artikkelissa pohditaan rataverkon rajoitusten vaikutuksia muun muassa viiveiden ketjuuntumiseen. Artikkelia on käsitelty luvussa 7.2 Viiveiden syyt.

### 5.2.3 Yhteenveto ja johtopäätökset

Rataverkkoa tai laajemmin koko rautatieinfrastruktuuria on kirjallisuudessa lähestytty monesta näkökulmasta. Rautatieliikenteen hoidossa infrastruktuurin rooli on merkittävä, rautatieliikenteen täsmällisyyden tutkimuksessa teema ei kuitenkaan näy näin voimakkaasti. Infrastruktuuri vaikuttaa kuitenkin oleellisesti myös täsmällisyyteen, aiheuttaen viiveitä ja niiden ketjuuntumista.

Kirjallisuuskatsauksessa tarkastelluissa artikkelissa pohditaan rataverkon rakenteen vaikutuksia liikennöinnin luotettavuuteen. Esimerkiksi yksiraiteisten rataverkon ohitusmahdollisuuksien ja kapasiteetin vaikutuksia viiveiden syntymiseen ja niiden leviämiseen verkolla on tutkittu. Yksiraiteisella radalla kohtauspaikkojen sijainti ja määrä vaikuttavat täsmällisyyteen; niin viiveiden määrään kuin selvästi niiden ketjuuntumiseen.

Rataverkon kunnossapidon merkitys täsmällisyyteen tulee kirjallisuudessa myös usein esille. Kunnossapidon taso samoin kuin sen sovittaminen vilkkaasti liikennöidyllä verkolla vaikuttavat täsmällisyyteen. Rautatieinfrastruktuurin kunnossapitovastuu on useimmiten radanpitäjällä.

Infrastruktuurista vastaava radanpitäjä ja rautatieoperaattori on usein erotettu omiksi toimijoikseen. Tällaisessa tilanteessa radanpitäjä on vastuussa rautatieoperaattorille siitä, ettei verkosta aiheudu viiveitä. Infrastruktuuri sitoo siis radanpitäjän mukaan vastuulliseksi täsmällisyyden tekijäksi.

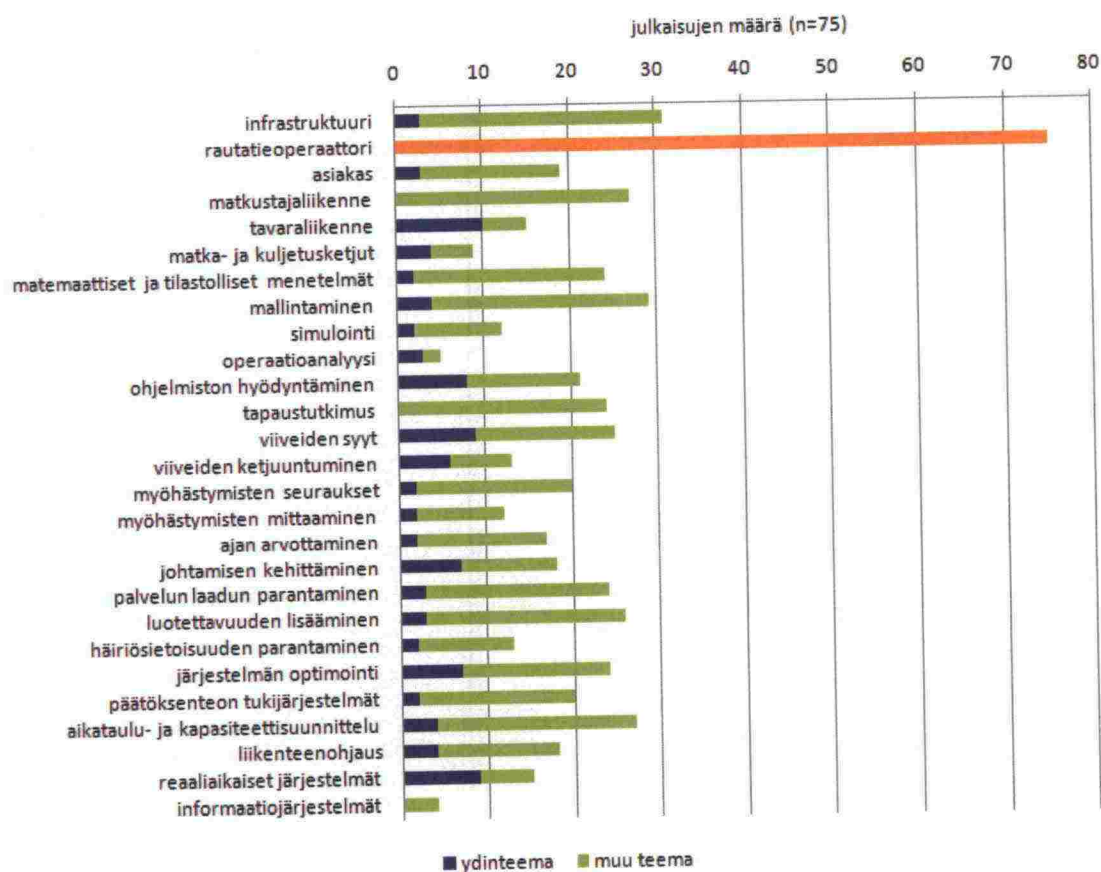
Radanpitäjän vastuulla ovat myös investointihankkeet, joiden hoitamisella voidaan myös vaikuttaa täsmällisyyteen niin työnaikaisten järjestelyiden kautta kuin myös rataverkon yleisen kehittämisen kautta.

### 5.3 Rautatieoperaattori

Tässä luvussa tarkastellaan täsmällisyyttä rautatieoperaattorien näkökulmasta. Rautatieoperaattorilla (*railway operator*) tarkoitetaan tässä toimijoita, jotka harjoittavat liikennettä toisen tahon omistamalla rataverkolla. Operaattoreista käytetään myös termiä *liikennöitsijä*, joka kuvaa hyvin niiden roolia liikenteen operoijana. Muun muassa lainsäädännössä käytetään termiä *rautatieyritys* (*railway undertaking*). Rautatieoperaattoreita voi olla samalla rataverkolla yksi tai useampia. Kirjallisuudessa on tarkasteltu näistä molempia tapauksia.

Rautatieoperaattoreilla on mahdollisuus vaikuttaa täsmällisyyteen ja yhtäläillä epätäsmällisyys aiheuttaa seurauksia myös heille. Kaluston ja henkilöstön pitkittynyt käyttöaika, asiakastyytyväisyyden heikkeneminen ja rataverkon omistajalle mahdollisesti maksettavat sanktiot ovat epätäsmällisyydestä operaattorille aiheutuvia negatiivisia seurauksia.

Kuvassa 5.2 on esitetty julkaisut, joissa käsitellään täsmällisyyttä rautatieoperaattorin näkökulmasta. Mukana ovat kaikki teemaa käsittelevät artikkelit, sillä rautatieoperaattori on keskeisenä näkökulmana, ydintemana, ainoastaan neljässä kirjallisuuskatsauksen julkaisussa. Täsmällisyyttä rautatieoperaattorin näkökulmasta tarkastelevia julkaisuja on kaikkiaan 75.



Kuva 5.2 Teeman RAUTATIEOPERAATTORI kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat.



Kuvasta 5.2 nähdään, että rautatieoperaattorin näkökulmaa tuodaan tutkimuksessa esiin tasaisesti useiden muiden teemojen yhteydessä. Mikään yksittäinen teema ei nouse voimakkaasti esiin, mutta toisaalta menetelmien, kuten simuloinnin ja mallintamisen suhteellinen osuus on operaattorinäkökulmasta täsmällisyyttä tarkastelevassa tutkimuksessa pienempi.

Raportin liitteenä on luettelo rautatieoperaattori-teemaa käsittelevistä julkaisuista. Mukana on 41 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus).

### **5.3.1 Täsmällisyyttä rautatieoperaattorin näkökulmasta käsitteleviä julkaisuja**

DEBRINCAT & GOLDBERG & DUCHÂTEAU & KROES & KOUWENHOVEN. JOURNAL ARTICLE 2007.

#### **REGULARITY OF TRAINS IN ILE DE FRANCE: WHAT DOES IT MEAN TO USERS?**

Debrincat et al. (2007) tarkastelevat lähiliikenteen palvelun luotettavuutta ja epä säännöllisyyden vaikutuksia Pariisin alueella. Tutkimus suoritettiin vuosina 2003–2005 ja siinä kerättiin tietoa myöhässä saapuneiden junien tai matkustajien prosenttisuuksista eri vuorokaudenaikoina, eri viikonpäivinä, eri aikaan vuodesta ja eri junareiteillä.

Tutkimuksessa havaittiin junien epä säännöllisyyttä tai epätäsmällisyyttä illan ruuhkatuntien aikana. Tutkimuksessa muodostui korrelaatio operaattorin ja matkustajien havaitseman epätäsmällisyyden välille.

GAUDERON & KUONEN. JOURNAL ARTICLE 2006.

#### **ERHÖHUNG DER PÜNKTLICHKEIT DURCH BESSERE INSTANDHALTUNG DES ROLLENDEN MATERIALS [IMPROVING PUNCTUALITY OF SERVICES THROUGH BETTER MAINTENANCE]**

Gauderon ja Kuonen (2006) kuvaavat, kuinka täsmällisyys yhdessä muiden tekijöiden kanssa muodostaa tärkeän tekijän julkisessa liikenteessä. Artikkelissa kuvataan matkustajaliikenteen täsmällisyyden vaikutuksia sveitsiläisen rautatieoperaattorin SBB:n toiminnassa sekä kuvataan millaisin kunnossapidon toimenpitein täsmällisyyttä on pyritty parantamaan.

Artikkelissa käsitellään myös kaluston vaikutuksia täsmällisyyteen ja sitä kuinka uudet tekniset ratkaisut yhdessä kunnossapidon nousseiden vaatimusten kanssa ovat vaikuttaneet täsmällisyyteen. Lopuksi esitellään kunnossapitotoimenpiteitä, joiden avulla matkustajajunien täsmällisyyttä on parannettu. Sveitsissä täsmällisyys on yleisesti hyvää tasoa ja täsmällisyyttä kehitetään aktiivisesti.

FIOOLE & KROON & MARÓTI & SCHRIJVER. JOURNAL ARTICLE 2006.

#### **A ROLLING STOCK CIRCULATION MODEL FOR COMBINING AND SPLITTING OF PASSENGER TRAINS**

Fioole et al. (2006) käsittelevät rautatieliikenteen kalustokiertoa ja sen haasteita. Artikkelissa todetaan, että hyvän kalustokierron toteuttamiseksi tulee ottaa huomioon tehokkuus, palvelu ja häiriöherkkyys. Rautatieoperaattorin näkökulma sinänsä on esillä vain vähän; lähinnä kuvataan, kuinka NS Reizigers, merkittävin alankomaalainen matkustajaliikenteen rautatieoperaattori, on hyödyntänyt menetelmää.

ABRAHAMSSON. CONFERENCE PROCEEDINGS 2008.

## OPERATION SIMULATION OF TRACTION SYSTEMS

Abrahamsson (2008) mallintaa julkaisussaan sähköratajärjestelmää. Tutkimuksessa kiinnostuksen kohteena on aikataulun herkkyyys ja tätä kautta myös viiveitä käsitellään artikkelissa. Esitetyn menetelmän avulla voidaan arvioida odotettavissa olevia viiveitä erilaisille sähkön syöttötavoille.

### 5.3.2 Yhteenveto ja johtopäätökset

Rautatieoperaattorin näkökulmasta tehtyä täsmällisyystutkimusta on melko vähän. Useimmin tarkastellaan täsmällisyyttä aikataulujen tai koko järjestelmän näkökulmasta. Tosin rautatieoperaattorin roolia sivutaan usein muiden näkökulmien yhteydessä.

Rautatieoperaattorin näkökulma tulee tutkimuksessa esiin kahdella tapaa: kaluston ja kilpailun kautta. Kaluston kautta asiaa lähestytään tarkastelemalla kaluston ominaisuuksia ja kaluston kautta tarjoutuvia mahdollisuuksia parantaa täsmällisyyttä. Tällöin tutkimuksessa nousevat esiin muun muassa kaluston tekniset ominaisuudet tai kalustokierron optimointi.

Kirjallisuuskatsaukseen sisältyi useampia artikkeleja, joissa tarkasteltiin Britannian rautateillä tehdyn yksityistämisen seurauksia. Yksityistämisen seurauksena operaattorit erotettiin radanpitäjästä. Yksityistämisen yleisimpänä seurauksena oli mainittuna täsmällisyyden heikkeneminen.

Näistä kahdesta esiin tulleesta teemasta kumpikaan ei ole mukana luokittelussa, minkä johdosta nämä eivät näy myöskään teemoittaisessa ristiintaulukoinnissa, vaikka ne nousevat laajasta kirjallisesta materiaalista yleisenä havaintona esiin.

### 5.4 Asiakas

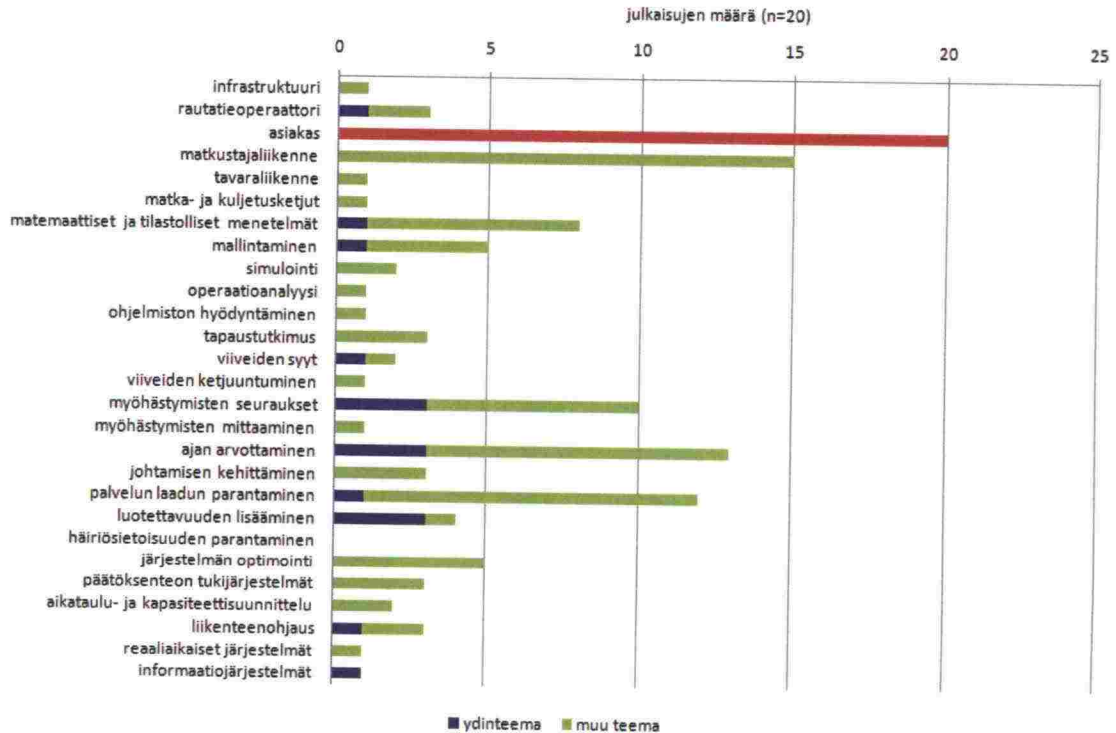
Rautatieliikennettä hoidetaan, jotta tavarat ja ihmiset voivat liikkua. Tämä näkökulma ei kuitenkaan tule voimakkaasti esille tutkimuksessa, vaan tarkastelu kohdistuu junien kulkuun ja junien täsmällisyyteen. Rautatieliikenteen epätäsmällisyys kuitenkin konkretisoituu myös matkustajille, liikenteen asiakkaille.

Tässä luvussa kuvataan kirjallisuuden kautta, miten täsmällisyyden ja asiakkaiden suhdetta on rautatieliikenteessä tutkittu. Rautatieliikenteen asiakkaana on tässä yhteydessä useimmiten matkustaja, tutkimusta tavaraliikenteen asiakkaiden suhteesta täsmällisyyteen on merkittävästi vähemmän. Lähestyminen asiakasta rautatieliikenteen täsmällisyyttä käsittelevässä tutkimuksessa voi olla esimerkiksi matkustajille aiheutuvien haittojen kautta tai tutkimalla sitä kuinka asiakkaat kokevat täsmällisyyden.

Asiakkaan ja täsmällisyyden välistä yhteyttä voidaan mitata ja seurata. Seuraavissa artikkeleissa on tarkasteltu muun muassa sitä, kuinka täsmällisyyttä voidaan arvioida asiakastyytyväisyyden kautta ja millaisia erilaisia asiakasryhmiä rautatieliikenteessä on täsmällisyyden suhteen tai miten asiakas kokee täsmällisyyden. Asiakkaiden kokemuksiin täsmällisyydestä liittyy usein myös ajantasainen tiedottaminen samoin kuin koottu viestintä saavutetusta täsmällisyystasosta. Useissa artikkeleissa viitataan myös näihin teemoihin.



Kirjallisuuskatsauksessa on täsmällisyyttä ja asiakkaita käsitteleviä julkaisuja yhteensä 69, joista 20 artikkelissa tämä teema on ollut keskeisessä asemassa, ydinteemana. Kuvassa 5.3 on esitetty näiden 20 pääasiassa täsmällisyyttä asiakasnäkökulmasta tarkastelevan julkaisun yhteys muihin käsiteltäviin teemoihin.



Kuva 5.3 Ydinteeman ASIAKAS kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat.

Kuvasta 5.3 nähdään, kuinka selvästi asiakasteema käsittelevä täsmällisyystudkimus liittyy myös ajan arvoon ja palvelun laadun parantamiseen. Julkaisujen analyysi tukee tätä havaintoa. Kuvassa selvästi erottuva matkustajaliikenteen ja asiakkaiden yhteys puolestaan on hyvin triviaali tulos, sillä asiakkaina useimmiten pidetään juuri matkustajia. Tavaraliikenteen asiakkaiden täsmällisyyttä käsittelevää tutkimusta on kirjallisuuden perusteella merkittävästi vähemmän.

Kuvassa näkyy muita pidempänä palkkina myös myöhästymisten seuraukset. Tämä kuvaa hyvin sitä kirjallisuudessa yleistä lähestymistapaa, että myöhästymisten seurauksia tarkastellaan asiakkaiden näkökulmasta, ei operaattorin tai yhteiskunnan näkökulmasta.

Raportin liitteenä on luettelo asiakas-teemaa käsittelevistä julkaisuista. Luettelossa on mukana 48 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyystudkimuksen näkökulmasta täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus).

### 5.4.1 Tyytymättömyys julkisen liikenteen palveluihin

ANDREASSEN. JOURNAL ARTICLE 1995.

#### (DIS)SATISFACTION WITH PUBLIC SERVICES: THE CASE OF PUBLIC TRANSPORTATION

Andreassen (1995) tarkastelee yhteyttä asiakastyytyväisyyden, asiakkaiden mieltymysten ja asiakasryhmien välillä. Artikkelin on markkinoinnin tutkimusta, mutta siinä on tarkemmin pohdittu juuri liikenteen ja erityisesti raideliikenteen asiakkuuksia.

Kirjoittaja esittää kaksi johtopäätöstä, joiden mukaan asiakastyytyväisyyttä voidaan parantaa antamalla asiakkaille palautetta sekä ottamalla tyytyväisyys tai tyytymättömyys huomioon palveluiden arviointikysymyksinä. Puhtaiden asiakastyytyväisyyden mittareiden Andreassen toteaa tuottavan puolueellista tietoa ja mikäli tällaista halutaan mitata tulisi se tehdä epäsuorasti useamman indikaattorin avulla.

Artikkelissa esitetään, että erilaisilla asiakasryhmillä on erilaiset vaatimukset ja tätä kautta myös asiakastyytyväisyys muodostuu erilaisten kriteerien kautta. Julkista liikennettä paljon käyttävät ovat sopeuttaneet odotuksensa kokemustensa kautta palvelun laatuun. He eivät ole yhtä tyytymättömiä palveluun kuin ne asiakkaat, jotka matkustavat satunnaisesti. Erilailla muodostuvia odotuksia palvelun laadusta Andreassen kuvaa termillä laatualue (*quality area*), jotka voidaan määritellä erilaisille asiakastyypeille. Näiden laatualueiden avulla voidaan lopulta määritellä myös asiakastyytyväisyys.

Erilaiset asiakkaat luovat erilaiset odotukset palvelusta, joka johtaa siis eroavaisuuksiin asiakastyytyväisyydessä. Erilaisilla asiakasryhmillä myös laadun osatekijät painottuvat erilailla. Samanlaisia eroja on havaittavissa myös eri liikennemuotojen välillä. Andreassen ehdottaa, että jos tavoitteena on parantaa kansalaisten hyvinvointia kokonaisuutena, tulisi keskittyä palvelun laadun parantamisessa niiden tarpeisiin, jotka palveluita paljon käyttävät. Tutkimuksessa todetaan paljon julkista liikennettä käyttävien pitävän matka-aikaa kriittisimpänä laadun osatekijänä.

Tutkimuksen tulosten pohjalta voidaan tehdä johtopäätös, jonka mukaan matka-aika on kokonaisuuden kannalta merkittävin laadun osatekijä rautatieliikenteessä. Tätä johtopäätöstä ei kuitenkaan esitetä artikkelissa, eikä sitä ole todistettu.

### 5.4.2 Asemien saavutettavuuden vaikutus rautatiematkustuksen lisäämiseen

BRONS & GIVONI & RIETVELD. JOURNAL ARTICLE 2009.

#### ACCESS TO RAILWAY STATIONS AND ITS POTENTIAL IN INCREASING RAIL USE

Artikkelissa käsitellään nimensä mukaisesti asemien saavutettavuuden vaikutuksia rautatieliikenteen suosioon. Brons et al. (2009) kuvaavat myös mistä kaikesta rautatieliikenteen kokonaislaatu muodostuu Alankomaissa. Artikkelissa viitataan NS:n tekemään asiakastyytyväisyyskyselyyn, jossa yhtenä selvitettävänä asiana on matka-ajan luotettavuus, eli palvelun täsmällisyyden taso.

Kokonaisuudessa asiakastyytyväisyyskysely koostuu 37 kysymyksestä, joissa selvitetään asiakkaiden tyytyväisyyttä matkan eri tekijöihin. Asiakastyytyväisyyttä kysytään asteikolla 1–10, arvosanan 1 tarkoittaessa *ei voisi olla huonompi* ja arvosanan 10 *erinomainen*. Kyselyyn ja sen hyödyntämiseen tulee perehtyä tarkemmin, kun syvennytään tähän aiheeseen tai halutaan suunnitella vastaavanlaista kyselytutkimusta.



Asiakastyytyväisyyttä Alankomaissa selvittäneestä kyselystä esiin nousi muun muassa se, että matkustajat ovat tyytyväisempiä niin sanottuihin pehmeisiin tekijöihin, kuten turvallisuuteen ja mukavuuteen. Kovat tekijät puolestaan aiheuttivat enemmän tyytymättömyyttä. Koviksi tekijöiksi luetaan muun muassa matka-ajan luotettavuus.

Pääpaino artikkelissa on asemien saavutettavuuden vaikutuksissa ja myös matkustajien tyytyväisyyttä on tarkasteltu tästä näkökulmasta. Kirjoittajat toteavat, että parantamalla saavutettavuutta ja aseman palveluita voidaan saavuttaa helpommin ja edullisemmin parempia tuloksia asiakastyytyväisyydessä, kun keskittymällä matkustajille tärkeimpiin tekijöihin. Useimmat matkustajille tärkeät laatutekijät ovat sellaisia, joiden parantaminen on vaikeaa. Vaikeasti parannettavana mainitaan muun muassa palvelun täsmällisyyden taso.

Asiakastyytyväisyyden kyselyissä matka-ajan luotettavuus on havaittu yhdeksi tärkeimmistä tekijöistä yhtä lailla kaikkien matkustajien, ei ainoastaan harvoin palveluja käyttävien joukossa. Kyselyssä palvelun luotettavuus saa toiseksi heikoimman arvosanan, heti hinta-laatusuhteen jälkeen.

Brons et al. (2009) toteavat, että laatua ja sen tasoa mitataan (Alankomaissa) kahdella mittarilla, RSQI-indeksin (*rail service quality index*) ja palvelun täsmällisyyden ja luotettavuuden avulla.

#### **5.4.3 Metroliikenteen ohjaus matkustajien näkökulmasta**

GOODMAN & MURATA. JOURNAL ARTICLE 2001.

##### **METRO TRAFFIC REGULATION FROM THE PASSENGER PERSPECTIVE**

Goodman ja Murata (2001) esittelevät prosessin, jossa matkustajien odotukset otetaan huomioon liikenteen optimoinnissa. Artikkelissa asiakkaiden mieltymysten ottamista huomioon on sovellettu metroverkostossa, mutta artikkelissa lueteltujen ominaisuuksien perusteella menetelmä on perusteltu myös muussa raideliikenteessä.

Matkustajien odotukset on ilmaistu matemaattisina funktioina, ja funktioille on etsitty minimiä. Tulokset on otettu mukaan koko järjestelmän optimointiin, simuloinnin avulla. Asiakkaiden odotukset huomioon ottavien funktioiden yhteyteen on liitetty myös sanktiot. Muista vastaavista menetelmistä poiketen esitelty menetelmä on riippumaton aikataulusta ja mahdollistaa junien lisäämisen ja poistamisen mallista ongelmitta.

Artikkelissa on siis pyritty määrittämään arvo matkustajien kokemalle haitalle siinä tapauksessa, että juna on myöhässä asemalla. Matkustajien haitta määritellään heidän odotusten kautta. Odotukset puolestaan kuvaavat matkustajien kokemia haittoja suhteessa palvelun laatuun, jonka he olettavat kokevansa. Tutkimuksessaan käyttämä funktio koostuu matkustajien matka- ja odotusajasta sekä ruuhkautumisesta. Matkustajia on käsitelty ryhminä, riippuen heidän lähtö ja määränpääasemistaan, saapumisajan kohdastaan asemalle, nousuajankohdasta, poistumisajankohdastaan sekä valitsemastaan junasta. Matkustajaryhmiä syntyi näin 728 000 kappaletta.

Myös tämän tutkimuksen tuloksia on esitelty COMPRAIL-konferenssissa vuonna 1998.

#### 5.4.4 Täsmällisyyttä asiakasnäkökulmasta käsitteleviä muita julkaisuja

GELDERS & GALETZKA & VERCKENS & SEYDEL. JOURNAL ARTICLE 2008.

##### **SHOWING RESULTS? AN ANALYSIS OF THE PERCEPTIONS OF INTERNAL AND EXTERNAL STAKEHOLDERS OF THE PUBLIC PERFORMANCE COMMUNICATION BY THE BELGIAN AND DUTCH RAILWAYS**

Geldersin et al. (2008) mukaan asiakastyytyväisyyden mittarit ovat yksi tärkeimmistä suorituskyvyn mittareista. Asiakkaiden subjektiivista kokemusta laadusta mitataan objektiivisesti muun muassa täsmällisyyden, tiedonsaannin, palveluiden, turvallisuuden, saavutettavuuden ja istumapaikan saatavuuden avulla.

Suorituskyvyn tunnuslukuna Belgiassa toimii junien täsmällisyys. Alankomaissa yhtenä tunnuslukuna on junien täsmällisyys, koostuen niin junien täsmällisyysprosentista, peruttujen junien määrästä, junayhteyksistä kuin asiakkaiden kokemasta täsmällisyydestä. Alankomaissa on käytössä myös muita asiakkaiden junamatkustuskokemusta arvioivia suorituskyvyn mittareita, mikä viittaa siihen, että asiakkaat otetaan paremmin huomioon arvioitaessa kokonaislaatua. Artikkelia on käsitelty tarkemmin mittaamisteeman yhteydessä (luku 7.5).

GALETZKA & GELDERS & VERCKENS & SEYDL. JOURNAL ARTICLE 2008.

##### **TRANSPARENCY AND PERFORMANCE COMMUNICATION: A CASE STUDY OF DUTCH RAILWAYS**

Saman tekijäryhmän toinen artikkeli aiheesta käsittele myös täsmällisyyttä ja asiakkaiden huomioimista sen mittaamisessa ja siitä tiedottamisessa.

Artikkelissa on osin pragmaattinen ote ja siinä kerrotaan kuinka asiantuntijat Alankomaiden rautatieliikenteessä kokevat täsmällisyyden ja muiden suorituskyvyn tunnuslukujen mittaamisen ja kuinka mittaamista tulisi kehittää. Artikkelissa pohditaan myös tunnuslukujen tuottaman tiedon hyödyntämistä, erityisesti viestinnässä.

Galetzka et al. (2008) vastaavat kysymykseen; mitä ja miten NS:n tulisi mitata suorituskyyään ja miten heidän tulisi kommunikoida mittaustuloksista niin sisäisesti että ulkoisesti. Artikkelissa esitellyt tulokset perustuvat 11 eri taholta tulevan rautatieliikenteen asiantuntijan haastatteluihin ja heille tehtyyn kyselytutkimukseen.

Artikkeli on laadukas ja hyvä vertaisvertailu täsmällisyyden mitta- ja viestintä-kulttuurista Alankomaissa. Tutkimuksen tuloksista on nähtävissä, että asiakkaiden ottaminen huomioon täsmällisyyden mittaamisen yhteydessä on kasvamassa ja läpinäkyvän viestinnän rooli on korostumassa.

WALTERS. JOURNAL ARTICLE 1999.

##### **PERFORMANCE MEASUREMENT SYSTEMS – A CASE STUDY OF CUSTOMER SATISFACTION**

Walters (1999) esittelee rautatieoperaattorin käyttämiä suorituskyvyn mittareita, joissa otetaan huomioon asiakas. Esimerkkinä palvelun luotettavuutta arvioidaan keskiarvona niistä matkustajista, jotka saapuvat aikataulussa asemalle. Muuten artikkeli ei käsittele rautatieliikenteen täsmällisyyttä, eikä sen käsittely laajemmin ole tämän kirjallisuuskatsauksen näkökulmasta oleellista.



CAVANA & CORBETT & LO. JOURNAL ARTICLE 2007.

**DEVELOPING ZONES OF TOLERANCE FOR MANAGING PASSENGER RAIL SERVICE QUALITY**

Cavana et al. (2007) tarkastelevat artikkelissaan laadun mittaamista. Heidän näkemyksensä mukaan asiaa tulisi seurata ottaen huomioon asiakkaiden kokemukset. Kirjoittajat ehdottavat, että yhtenä suorituskyvyn ja palvelun laadun seurannan mittarina olisivat asiakkaiden mieltymykset ja heidän määrittämänsä vähimmäistasot. Artikkeliki käsittelee laajemmin palvelun laatua ja siitä on tarkasteltu enemmän luvussa 8.3.

TÖRNQUIST & GUSTAFSSON. JOURNAL ARTICLE 2004.

**PERCEIVED BENEFITS OF IMPROVED INFORMATION EXCHANGE – A CASE STUDY ON RAIL AND INTERMODAL TRANSPORTS**

Törnquist ja Gustafsson (2004) käsittelevät rautateiden tavaraliikenteen asiakkaiden laatu- ja palveluodotuksia. Lisäksi he kuvaavat täsmällisyystiedon merkitystä tavaraliikenteen asiakkaille. Tietotarpeita ja asiakkaiden toiveita käsitellään erityisesti ruotsalaisesta näkökulmasta liittyen Banverketin toimintaan ja asiakassuhteisiin. Artikkelista on lyhyt analyysi myös tavaraliikenne-teeman yhteydessä.

DISNEY. JOURNAL ARTICLE 1998.

**COMPETING THROUGH QUALITY IN TRANSPORT SERVICES**

Disney (1998) esittää kuinka liikenteessä, ja artikkelissa tarkemmin käsitellyssä bussi- liikenteessä, voidaan kilpailla parantamalla palvelun laatua. Palvelun käsitteen kirjoittaja kuvaa muuttuneen ajoista, jolloin tuote ohjasi palvelua, suuntaan, jossa matkustajien mieltymykset ohjaavat sitä.

Artikkelin tulokset perustuvat vertailututkimukseen ja rinnakkaisen bussilinjan kehittämiseen asiakaskyselyiden perusteella. Disney on jo yli kymmenen vuotta sitten tarkastellut asiakkaiden tärkeää roolia ja aikataulutetun liikenteen suunnittelua sen avulla. Artikkeliiin viitataan usein kirjallisuudessa. Vaikkei artikkeli käsittele rautatieliikennettä suoraan on se täsmällisyyden, yhdistettynä asiakkaisiin tai laatuun, tutkimuksen kannalta olennainen.

WALL & McDONALD. JOURNAL ARTICLE 2007.

**IMPROVING BUS SERVICE QUALITY AND INFORMATION IN WINCHESTER**

Wall ja McDonald (2007) sivuavat asiakasteemaa, mutta eivät käsittele rautatie- liikennettä. Huomionarvoista on kuitenkin, että matkustajaprofiilia analysoimalla toimenpiteitä voidaan kohdentaa ja kehitystyötä toteuttaa niin, että kokonaislaatu paranee. Matkustajaliikenteessä suunnittelun yhtenä perusteena kirjoittajien mukaan voi olla erilaisten asiakkaiden tunnistaminen.

CSIKOS & CURRIE. JOURNAL ARTICLE 2008.

**INVESTIGATING CONSISTENCY IN TRANSIT PASSENGER ARRIVALS – INSIGHTS FROM LONGITUDINAL AUTOMATED FARE COLLECTION DATA**

Csikos ja Currie (2008) tarkastelevat erilaisia matkustajaryhmiä ja heidän käyttäytymistään liittyen odotusajan optimointiin.

TOMII & YOSHIKI & NORIYUKI & CHIKARA & KUNIMITSU. JOURNAL ARTICLE 2005.  
**TRAIN RESCHEDULING ALGORITHM WHICH MINIMIZES PASSENGERS'  
 DISSATISFACTION**

Tomiin et al. (2005) näkökulmana ovat matkustajat ja heidän tyytymättömyytensä minimointi häiriötilanteissa. Artikkeliki käsittelee pääasiassa uudenlaista algoritmia, joten sitä on tarkasteltu tarkemmin matemaattisten menetelmien yhteydessä luvussa 6.2.

#### 5.4.5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Rautatieliikenteen asiakkaat ovat matkustajia ja kuljetusasiakkaita. Useissa tutkimuksissa asiakkaina kuitenkin tarkastellaan ainoastaan matkustajia. Heille myös täsmällisyydellä on selvästi merkitystä, siltikään täsmällisyyttä ei ole paljoa tutkittu asiakasnäkökulmasta. Kuitenkin kirjallisuuskatsaukseen sisältyi artikkeleja, joissa tätä teemaa käsitellään, tosin tarkastelunäkökulmana on yleensä pohjimmiltaan markkinointi tai viestintä. Asiakastyytyväisyyttä selvittäneissä tutkimuksissa tarkastellaan myös täsmällisyyttä rautatieliikenteessä.

Kirjallisuuden perusteella on havaittavissa, että asiakkaiden ottaminen huomioon täsmällisyyden yhteydessä ja myös heidän kokeman täsmällisyyden mittaaminen on lisääntymässä. Esimerkkinä Geldersin et al. (2008) artikkelissa on kuvattu tilanne Alankomaissa, jossa asiakastyytyväisyyden seurannan yhteydessä mitataan samalla myös täsmällisyyttä. Viitteitä vastaaviin kyselytutkimuksiin löytyi myös Britanniaista. Käytössä olevien asiakastyytyväisyyssmittareiden ja niiden hyödyntämisen selvittäminen on mahdollinen jatkotutkimusaihe.

Asiakkaita koskevasta tutkimuksesta on löydettävissä näkökulmia, joita käsitellään useissa julkaisuissa. Rautatieliikenteen täsmällisyyttä tarkasteltaessa asiakkaat voidaan jakaa useampaan ryhmään. Suhtautuminen täsmällisyyteen, odotukset ja tyytyväisyys määrittyvät eri tavalla erilaisille asiakasryhmille. Muun muassa Goodman ja Murata (2001) ja Andreassen (1995) kirjoittavat tästä aiheesta. Erityisesti omaksi asiakasryhmäkseen on tunnistettu paljon matkustavat, joiden odotukset ovat hyvin realistisia ja myös tyytyväisyys on korkea.

Kirjallisuuden perusteella havaitaan myös, että asiakastyytyväisyyttä ei voida mitata yhden tekijän avulla, vaan mittarin tulee koostua useista tekijöistä. Täsmällisyys kuvataan näissä kyselyissä usein matka-ajan kautta. On havaittu, että juuri matka-ajan luotettavuus vaikuttaa eniten asiakkaiden tyytyväisyyteen.

Useiden tutkimusten yhteydessä on todettu, että täsmällisyyttä tulisi seurata myös asiakkaiden kokeman epätäsmällisyyden avulla. Tämä jää kuitenkin usein ainoastaan maininnaksi loppuyhteenvedossa. Asiakkaiden ottaminen huomioon on tärkeää täsmällisyyden mittaamisessa ja haluttaessa parantaa liikenteen kokonaislaatua. Näiden teemojen yhteydessä esiintyykin usein maininta asiakkaiden paremmasta huomioon ottamisesta tulevaisuudessa.

Aihepiirin artikkeleiden perusteella voidaan myös todeta, ettei pelkkä asiakastyytyväisyyden seuranta ja asiakkaiden huomioon ottaminen ole riittävä, vaan asiakkaille täytyy myös viestiä ja antaa palautetta. Galetzka et al. (2008) esittävät artikkelissaan kysymyksen, kuinka viestiä asiakkaille rautatieliikenteen täsmällisyydestä. Asiakkaat tarvitsevat tietoa täsmällisyyden syistä ja siinä suoriutumisesta.



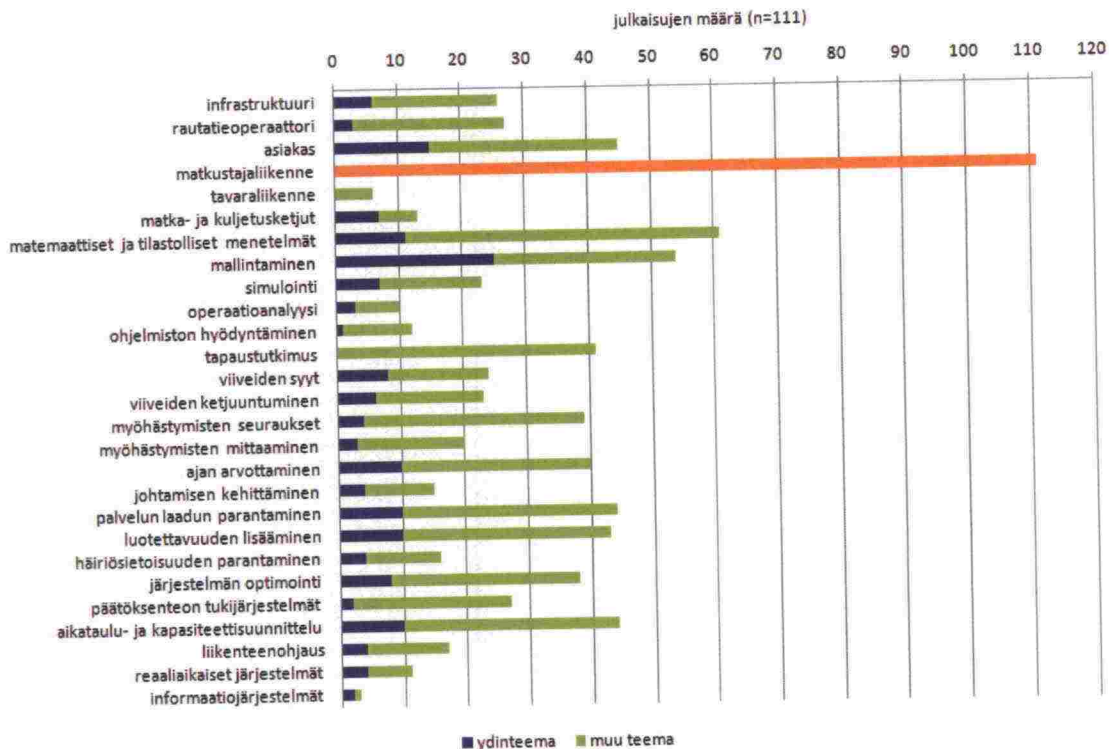
## 5.5 Matkustajaliikenne

Tässä luvussa esitellään täsmällisyystutkimuksia, joissa tarkastellaan erityisesti matkustajaliikennettä ja sen erityispiirteitä. Matkustajaliikenteen täsmällisyydessä tutkimuksen kohteena voi olla esimerkiksi täsmällisyystavoitteet. Tarkasteltavana järjestelmänä voi yksinomaan matkustajaliikenteelle tarkoitetun verkon lisäksi olla myös Suomen rautateiden kaltainen sekaverkko, ja tällöin esille nostetaan nimenomaan matkustajaliikenteen täsmällisyys. Sekaverkolla matkustajaliikennettä voidaan tarkastella joko itsenäisenä kokonaisuutena tai vaihtoehtoisesti voidaan tutkia sen roolia koko järjestelmän täsmällisyyden kannalta.

Katsauksen perusteella vaikuttaa siltä, että valtaosa täsmällisyystutkimuksesta keskittyy nimenomaan matkustajaliikenteeseen. Syy tälle on ilmeinen: ihmisiä kuljetettaessa täsmällisyyden merkitys on korostuneempi kuin tavaravirtojen kohdalla. Voidaan todeta täsmällisyystutkimuksen oletusarvona olevan, että tarkastellaan matkustajaliikennettä. Näin ollen teema esiintyy usein, mutta on artikkelin pääteemana harvoin. Tästä syystä suurin osa tässä luvussa esitellyistä artikkeleista on käsitelty myös muissa yhteyksissä tässä kirjallisuuskatsauksessa.

Matkustajaliikennettä käsittelevien julkaisujen (111 kpl) analyysin perusteella havaitaan, että niissä käsitellään melko tasaisesti sekä lähiliikennettä että kaukoliikennettä. Lähiliikenteeseen painottuvia artikkeleita on matkustajaliikenteen julkaisuista 29, ja vastaavasti kaukoliikenteen näkökulmasta on kirjoitettu 22 julkaisua. Matkustajaliikenteen julkaisuista monessa on myös joukkoliikenteen näkökulma (22 julkaisua). Matkustajaliikennettä käsittelevissä artikkeleissa on tarkasteltu myös asemia, kulkumuodonvalintaa ja matkaketjuja.

Täsmällisyys tuodaan matkustajaliikenteessä esiin voimakkaasti asiakasnäkökulmasta tai kuvaamalla matkustajat matkaketjuissa. Kuvassa 5.4 on esitetty kirjallisuuskatsauksen matkustajaliikennettä käsittelevissä julkaisuissa käsitellyt muut teemat.



Kuva 5.4 Teeman MATKUSTAJALIIKENNE kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat.

Kuvasta 5.4 nähdään, että asiakasnäkökulma on erilaisten menetelmien lisäksi vahvasti liitännäinen matkustajaliikenteen täsmällisyystutkimukseen. Tämä näkyy tutkimuksissa muun muassa niin, että ei tarkastella pelkästään matkustajaliikennettä tai matkustajajunia, vaan asiaa lähestytään enemmän asiakkaiden näkökulmasta. Yhteys on myös selitettävissä sillä, että matkustajaliikenteessä on helposti nähtävissä asiakkaiden rooli.

Aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelun yhteydessä on puolestaan useissa tutkimuksissa rajauksena käytetty matkustajaliikennettä ja suunniteltu esimerkiksi uusi aikataulurakenne matkustajaliikenteelle.

Myöhästymisten seuraukset, ajan arvottaminen, palvelun laadun parantaminen ja luotettavuuden lisääminen näkyvät myös matkustajaliikenteen tutkimuksessa. Tämä tukee hyvin niitä havaintoja, joita kirjallisuuden perusteella on tehtävissä. Näiden teemojen tutkimus käsittelee enimmäkseen matkustajaliikennettä. Matkustajaliikennettä käsitteleviä julkaisuja on tarkasteltu tarkemmin muiden teemojen yhteydessä.

Raportin liitteenä on luettelo matkustajaliikenne-teemaa käsittelevistä julkaisuista. Mukana on 79 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta vähintään merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus).



### 5.5.1 *Esimerkkejä matkustajaliikenteen täsmällisyyttä käsittelevistä julkaisuista*

HEIMANN. CONFERENCE PROCEEDINGS 1979.

#### **DETERMINATION OF TRANSIT SYSTEM DEPENDABILITY**

Heimann (1979) tarkastelee matkustajapohjaisia tekniikoita järjestelmän käyttövarmuuden laskentaan. Esitetty menetelmä käyttää käyttövarmuutena niiden matkustajien osuutta, jotka ovat saapuneet määränpäähän aikataulussa tai määritettyjen aikarajojen sisällä. Menetelmä ottaa huomioon viiveet, häiriötilanteen liikennöintipolitiikan sekä matkustajavirrat.

Menetelmän avulla pyritään kokoamaan luotettavuus, kunnossapidettävyyys, erilaiset häiriöiden syyt, vaikutukset ja muut tekijät yhdeksi järjestelmän suorituskykyä kuvaavaksi tulokseksi. Menetelmä on tarkoitettu matkustajaliikenteen tarkasteluun.

BADCOCK. MAGAZINE ARTICLE 2006.

#### **MORE TRAINS ON TIME MORE OFTEN**

Badcock (2006) tarkastelee aikataulurakenteen muutoksen vaikutuksia matkustajien palvelun parantamiseksi Alankomaissa. Alankomaissa matkustajamäärät ovat kasvaneet selvästi ja samaan aikaan on täsmällisyyden parantamiseen panostettu. Uuden aikataulurakenteen ja panostusten täsmällisyyteen toivotaan houkuttelevan matkustajia.

Kyseessä on magazine-artikkeli, jossa kuvataan myös hyvin pragmaattista kehitystyötä ja todetaan operaattorin kaupallisen johtajan asettaneen tavoitteeksi nostaa järjestelmätason täsmällisyys kahdessa vuodessa yli kahden prosenttiyksikön verran.

### 5.5.2 *Yhteenveto ja johtopäätökset*

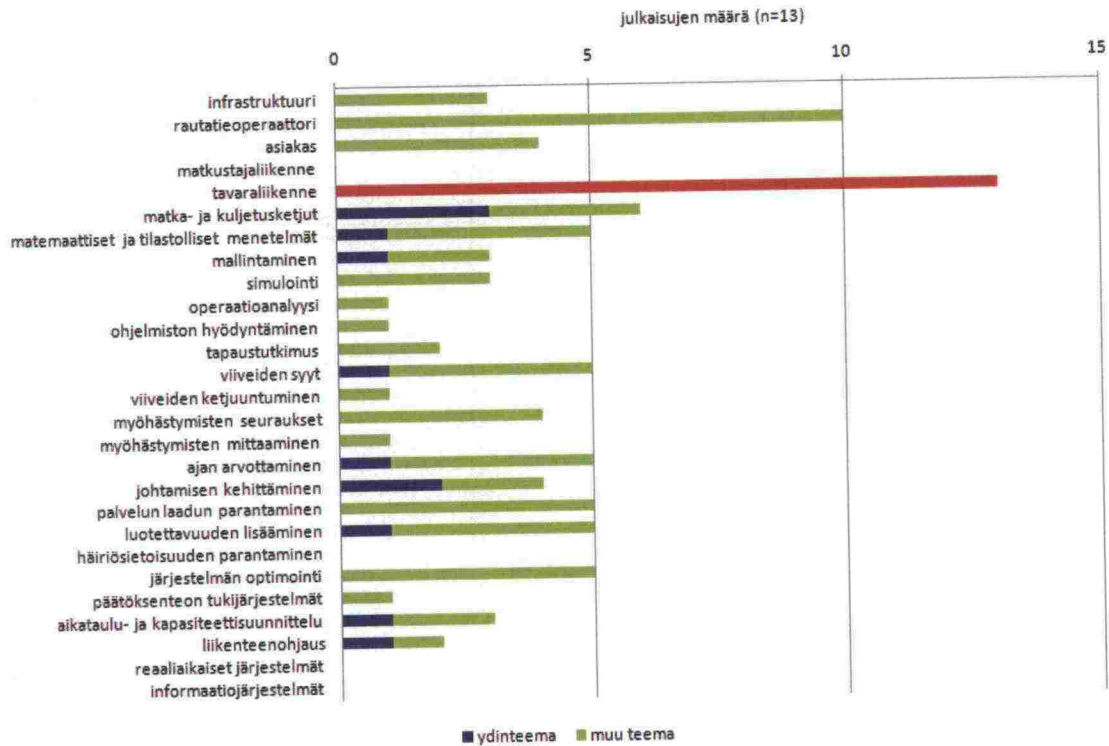
Suuri osa täsmällisyystutkimuksesta on tehty juuri matkustajanäkökulmasta, jolloin on tarkasteltu ainoastaan tai pääosin matkustajaliikennettä. Aihetta on kuitenkin käsitelty enemmän näkökulmana kuin julkaisun varsinaisena teemana, mistä johtuen ei matkustajaliikenteen näkökulman painoarvo näy tässä luvussa. Vaikka tässä luvussa ei ole esiteltynä suurta määrää julkaisuja, se johtuu ainoastaan katsauksen tavasta käsitellä julkaisuja niiden pääteeman mukaisesti. Matkustajaliikenteen näkökulmasta täsmällisyyttä on tutkittu hyvin laajasti.

Erityisesti eurooppalainen täsmällisyystutkimus keskittyy matkustajaliikenteeseen ja tämä näky myös tässä kirjallisuuskatsauksessa. Yhdysvalloissa täsmällisyydestä ollaan kiinnostuneita myös tavaraliikenteen yhteydessä, tavaraliikenteen ollessa muutenkin rautateillä merkittävämpi. Euroopassa ja useissa Aasian maissa näyttää matkustajaliikenteen täsmällisyyden parantamiseen tähtäävää tutkimusta olevan kuitenkin selvästi enemmän.

## 5.6 Tavaraliikenne

Tässä luvussa tarkastellaan täsmällisyyteen liittyviä tutkimuksia, joissa kohteena on korostetusti tavaraliikenne erityispiirteineen. Valintaperusteet ovat käytännössä identtiset matkustajaliikenteen kanssa, nyt vain tavaraliikenteen näkökulmasta.

Kuvassa 5.5 on esitetty kirjallisuuskatsauksen tavaraliikennettä käsittelevien julkaisujen ja muiden teemojen yhteys.



Kuva 5.5 Ydinteeman TAVARALIIKENNE kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat.

Kuvasta 5.5 nähdään, että pelkästään tavaraliikennettä koskevaa täsmällisyydestä on tehty vain vähän: vain 13 julkaisussa tavaraliikenne nousi ydinteemaksi. Koska artikkeleita on niukasti, ei niissä esiintyvien muiden teemojen yleisyydestä voi päätellä paljoakaan tutkimuksen trendeistä. Ainoastaan kuljetusketjut- ja rautatieoperaattori-teemat näyttävät selvästi korostuvan teeman tutkimuksessa. Näyttää siltä, että tavaraliikenteessä kuljetusketjuilla on suhteellisen suuri merkitys, kuten myös rautatieoperaattorilla.

Kuten todettu, teemaan kuuluvia julkaisuja nousi esille suhteellisen vähän, ja niistäkin valtaosa vain sivusi täsmällisyyttä. Näin ollen seuraavaksi esiteltyt artikkelit on käsitelty melko lyhyesti.

Raportin liitteenä on luettelo tavaraliikenne-teemaa käsittelevistä julkaisuista. Mukana on 14 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyydestä tutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus).



### **5.6.1 Tavaraliikenteen täsmällisyyttä käsitteleviä julkaisuja**

DEJAX & BOOKBINDER. JOURNAL ARTICLE 1991.

#### **GOODS TRANSPORTATION BY THE FRENCH NATIONAL RAILWAY (SNCF): THE MEASUREMENT AND MARKETING OF RELIABILITY**

Dejax ja Bookbinder (1991) käsittelevät artikkelissaan tapoja, joilla Ranskan Valtion-rautatiet (SNCF) voi mitata, tarkkailla ja markkinoida luotettavuutta. Artikkelissa esitellään muutamia SNCF:n palveluja, joissa korostuu tavarankuljetusten luotettavuus. Kirjoittajien mukaan oikea-aikaiset ja luotettavat rautatiekuljetukset voivat kilpailla kuorma-autojen just in time -kuljetusten kanssa.

Artikkelissa on viitattu muun muassa seuraavaan julkaisuun:

- Steinmetz, W. R. & Ashmore, D. P. 1996. Reliability – the dominant railway performance issue for the next decade. European Transport Conference 1996.

VAN SCHIJNDEL & DINWOODIE. JOURNAL ARTICLE 2000.

#### **CONGESTION AND MULTIMODAL TRANSPORT: A SURVEY OF CARGO TRANSPORT OPERATORS IN THE NETHERLANDS**

Van Schijndel ja Dinwoodie (2000) tutkivat tiekuljetuksien ja yhdistettyjen kuljetusten suhdetta Alankomaissa siitä näkökulmasta, miten liikennemuutokset vaikuttavat alankomaalaisten yritysten päätöksiin vaihtaa tiekuljetuksista yhdistettyjen kuljetusten käyttöön. Täsmällisyyttä tutkimusraportti sivuaa vain siltä osin, että se mainitsee sen yhtenä toimivan yhdistetyn kuljetusketjun etuna. Van Schijndel ja Dinwoodie erittelevät seikkoja, jotka liittyvät yhdistettyjen kuljetusketjujen kannattavuuden parantamiseen ja niiden käyttöönoton edistämiseen Alankomaissa.

RODRIGUE. JOURNAL ARTICLE 2008.

#### **THE THRUPORT CONCEPT AND TRANSMODAL RAIL FREIGHT DISTRIBUTION IN NORTH AMERICA**

Artikkelissaan Rodrigue (2008) esittelee Thruport-konseptin, joka on rautateiden suurten rahtimäärien käsittelyyn suunniteltu terminaali, jossa kontteja voidaan siirtää junasta toiseen. Kirjoittajan mukaan Thruport-konsepti on ratkaisu tavaraliikenteen lisääntymisestä aiheutuviin mahdollisiin kapasiteettiongelmiin. Täsmällisyyttä sivutaan artikkelissa yhtenä Thruportin tuomista eduista. Rodrigue mainitsee myös muita aika- ja kustannusetuja. Rodriguen mukaan Thruport olisi ratkaisu erityisesti Pohjois-Amerikan pirstoutuneen omistajuuden aiheuttamiin ongelmiin, toimien linkkinä eri markkina-alueiden, toimitusketjujen ja rautatieyhtiöiden välillä.

GORMAN. JOURNAL ARTICLE 2009.

#### **STATISTICAL ESTIMATION OF RAILROAD CONGESTION DELAY**

Gorman (2009) käsittelee tavaraliikenteen viivästymisiä, jotka aiheutuvat ruuhkista. Viivästymisten syihin perehdytään ekonometrisin menetelmin tilastollista dataa tutkimalla. Tutkimuksen tavoitteena on tuottaa lisäinformaatiota ruuhkien ennustamista varten. Tutkimuksen mukaan hyödyllisiä junien nopeuksien epäyhtenäisyyksien mittareita ruuhkaennusteita laadittaessa ovat kohtaamiset ja ohitukset. Tutkimustulosten mukaan ohitustilanteet viivästyttävät sekä ohitettavaa että ohittavaa junaa.

HE & SONG & CHAUDHRY. JOURNAL ARTICLE 2003.

**AN INTEGRATED DISPATCHING MODEL FOR RAIL YARDS OPERATIONS**

He et al. (2003) ovat tutkineet junien aikatauluttamista ja ratapihan junien luokittelua ja kokoamista koskevia suunnittelupäätöksiä Kiinassa. Tutkimustyöhön pohjautuen on kehitetty tietokoneavusteinen suunnittelutyökalu, jonka tarkoituksena on auttaa ratapihan toimintaan liittyvässä päätöksenteossa koskien muun muassa junien saapumis-aikoja, kokoonpanoa ja ratapihalla tapahtuvia viiveitä.

Tutkimuksen lähteinä on käytetty useita aiheeseen liittyviä julkaisuja, joista täsmällisyyteen liittyvät ainakin seuraavat Petersenin julkaisut:

- Petersen E.R. 1977. Railyard modeling; Part I. Prediction of put-through time. *Transportation Science*, Vol. 11, Issue 1, p. 37–49.
- Petersen E.R. 1977. Railyard modeling; Part II. The effect of yard facilities on congestion. *Transportation Science*, Vol. 11, Issue 1, p. 50–59.

KREUTZBERGER. JOURNAL ARTICLE 2008.

**DISTANCE AND TIME IN INTERMODAL GOODS TRANSPORT NETWORKS IN EUROPE: A GENERIC APPROACH**

Kreutzberger (2008) käsittelee etäisyys- ja aikatekijöitä erityisesti Euroopan rautateiden intermodaalikuljetusten kilpailuetuina, mutta pyrkii yleistettäviin tuloksiin vertaillen eri kuljetusverkostotyyppisiä käytettävien kulkuneuvojen, toiminnan toistuvuuden ja kuljetusajan suhteen. Tutkimustulosten mukaan intermodaalikuljetuksia käyttäville asiakkaille kustannukset ovat aikaa ja kuljetustiheyttä tärkeämpi tekijä, kun taas tiekuljetusten asiakkaat arvottavat aikatekijät suhteellisen korkealle, mihin on syytä kiinnittää huomiota haluttaessa parantaa intermodaalikuljetusten kilpailukykyä.

DANIELIS & MARCUCCI. JOURNAL ARTICLE 2007.

**ATTRIBUTE CUT-OFFS IN FREIGHT SERVICE SELECTION**

Danielis ja Marcucci (2007) tarkastelevat kuljetusliikkeiden suhtautumista kuljetuspalveluiden eri ominaisuuksiin, tarkoituksenaan selvittää voisivatko intermodaaliset tie- ja rautatiekuljetukset korvata tällä hetkellä ainoastaan tiellä kulkevia kuljetuksia. Täsmällisyyttä sivutaan vain yhtenä kuljetusliikkeiden toimituksille asettamista vaatimuksista. Tutkimuksen tulosten mukaan kuljetusliikkeet suhtautuvat intermodaalikuljetuksiin positiivisesti, mutta liikkeet eivät ole kovin tietoisia intermodaalikuljetusten ominaisuuksista tai kuljetusten soveltuvuudesta omaan toimintaansa.

FERREIRA. JOURNAL ARTICLE 1997.

**PLANNING AUSTRALIAN FREIGHT RAIL OPERATIONS: AN OVERVIEW**

Ferreira (1997a) käsittelee rautatieliikenteen suunnittelun edellytyksiä Australiassa ja esittelee mallin, joka on suunniteltu optimoimaan sivuraiteiden sijaintia yksiraiteisella rautatiellä. Ferreiran mukaan simuloinnin ja asiantuntijajärjestelmien käyttö tuntuisi olevan parempi apuväline toiminnan suunnitteluun kuin optimointi. Täsmällisyyden näkökulmasta luotettavuus ja kulkuajat mainitaan raideinfrastruktuurin suunnitteluun ja ylläpitoon läheisesti liittyvänä rautatiekuljetusten markkinaosuutta lisäävänä seikkana.



Artikkelin lähteinä on käytetty lukuisia julkaisuja, jotka käsittelevät muun muassa aika-  
taulu- ja kapasiteettisuunnittelua sekä liikenteenohjausta. Useimmissa niistä täsmälli-  
syys on vain sivuosassa. Täsmällisyysteemaan liittyvät seuraavat julkaisut:

- Bureau of Industry Economics. 1993. International performance indicators: Rail freight update. Research Report 52. AGPS, Canberra.
- Ferreira, L. & Sigut, J. 1993. Measuring the performance of intermodal freight terminals. *Transportation Planning and Technology*, Vol. 17, Issue 3, p. 268–279.
- Mills, R. G. & Perkins, S. E. & Pudney, P. J. 1991. Dynamic rescheduling of long haul trains for improved timekeeping and energy. *Asia-Pacific Journal Operational Research*, Vol. 8, Issue 2, p. 146–165.
- Turnquist, M. & Daskin, M. 1982. Queuing models of classification and connection delay in railyards. *Transportation Science*, Vol. 16, Issue 2, p. 207–230.

FERREIRA. JOURNAL ARTICLE 1997.

#### **RAIL TRACK INFRASTRUCTURE OWNERSHIP: INVESTMENT AND OPERATIONAL ISSUES**

Tässä artikkelissa Ferreira (1997b) tarkastelee rautateiden infrastruktuurin omistamisen ja käyttämisen eriytymisen vaikutusta rautateiden tavaraliikenteen kannattavuuteen sijoitusten ja toiminnan ohjauksen kautta. Artikkelin tarkastelee myös erilaisia investointeja, jotka parantavat rautatiekuljetusten luotettavuutta, joka on rautatieliikenteen kannattavuutta lisäävä tekijä. Tältä osin artikkeli sivuaa hyvin rautatieliikenteen täsmällisyyttä. Ferreiran tekee ehdotuksen hybridimallista, jossa rautatieinfrastruktuurin omistaisi rautateiden eri käyttäjien muodostama organisaatio, jossa voisi olla mukana myös valtio.

Täsmällisyyden kannalta kiinnostava julkaisu on

- Higgins A. & Ferreira L. & Kozan E. 1995. Modelling delay risks associated with a train schedule. *Transportation Planning and Technology*, Vol. 19, Issue 2, p. 89–108.

TÖRNQUIST & GUSTAFSSON. JOURNAL ARTICLE 2004.

#### **PERCEIVED BENEFITS OF IMPROVED INFORMATION EXCHANGE – A CASE STUDY ON RAIL AND INTERMODAL TRANSPORTS**

Törnquist ja Gustafsson (2004) kirjoittavat, että kuljetettaessa tuotteita tavaraliikenteessä syntyy myös vaatimuksia luotettavuuden ja täsmällisyyden suhteen. Rautatieliikenteen kuljetuksissa laatu tarkoittaa useimmiten kuljetusaikaa ja luotettavuutta. Tavaraliikenteelle viiveistä aiheutuvina haittoina Törnquist mainitsee

- henkilöstön ylityöt
- resursseja ei ole saatavilla johtuen pettäneestä resurssien aikataulutuksesta
- viiveiden heijastuminen muihin kulkumuotoihin liikenneverkolla
- asiakkaiden tyytymättömyys.

Törnquist ja Gustafsson viittaavat seuraaviin lähteisiin liittyen erityisesti täsmällisyydestä saatavan hyödyn määrittämiseen:

- Bruzelius, N. 2001. The valuation of logistics improvements in CBA of transport investments – a survey. Report for the SAMPLAN 2001, 1.
- SIKA, Swedish Institute for Transport and Communication Analysis. 2002. Värdering av tid och kvalitet i godstrafik. Report within the project Tid och kvalitet i godstrafik.

### 5.6.2 Tavaraliikenteen täsmällisyyttä sivuavia julkaisuja

MARTLAND. JOURNAL ARTICLE 1992.

**RAIL FREIGHT SERVICE PRODUCTIVITY FROM THE MANAGER'S PERSPECTIVE**

TADI & PALANISWAMY. JOURNAL ARTICLE 1984.

**COMPARISON OF VARIOUS FREIGHT TRAIN DISPATCHING POLICIES FOR INDIAN RAILWAYS**

SEEWALD. JOURNAL ARTICLE 2002.

**RAILROADS FAIL TO DELIVER ON SERVICE**

LOWE. BOOK SECTION 2005.

**RAIL-FREIGHT OPERATIONS**

Martland (1992) esittelee, miten rautatieyhtiöt voivat liittää tuottavuuden osaksi kokonaisvaltaisempaa tulostamattajärjestelmää. Tadi ja Palaniswamy (1984) arvioivat neljää eri toimintatapaa liikenteenohjaukseen Intiassa. Seewald (2002) käsittelee yhdysvaltalaisen kemikaalikuljetusyrityksen tyytymättömyyttä huonoon rautatiekuljetusten hinta- ja laatutarjontaan, mikä johtuu kilpailun puuttumisesta. Lowe (2005) puolestaan tarkastelee intermodaalikuljetusten tilaa Britanniassa ja Euroopassa rautateiden tavaraliikenteen näkökulmasta. Täsmällisyys on näissä artikkeleissa vain sivuosassa.

### 5.6.3 Yhteenveto ja johtopäätökset

Kuten aikaisemmin on todettu, täsmällisyystutkimus keskittyy matkustajaliikenteeseen tavaraliikenteen jäädessä huomattavasti vähemmälle huomiolle. Vain 30 artikkelia (9 % kaikista artikkeleista) nosti tavaraliikenteen erityisesti esille. Tässä yhteydessä on tosin syytä huomata, että moni artikkeli käsitteli rautatieliikenteen täsmällisyyttä yleisesti, jolloin sekaverkkojen tapauksessa sivutaan tietenkin myös tavaraliikennettä. Joka tapauksessa ero matkustajaliikenteen artikkelimäärään on huomattava (108 artikkelia, 33 % kaikista). Ero johtunee siitä, että tavaraliikenteellä on tähän asti ollut melko vähäiset vaatimukset täsmällisyydelle. Tavarankuljetukset harvemmin kärsivät muutama minuutin viivästyksestä. Asia lienee muuttumassa johtuen esimerkiksi pyrkimyksistä nopeuttaa toimitusketjuja ja pienentää välivarastoja. Näin ollen asian merkitys on kasvamassa ja alan tutkimusta tarvitaan.



Niissä harvoissa esille nousseissa artikkeleissa, joissa tavaraliikennettä tutkitaan, on se huomattavasti korostuneemmassa roolissa kuin matkustajaliikenteen tarkastelussa. Tämä johtunee siitä, että näkökulman harvinaisuuden vuoksi sitä on korostettava asemoitaessa artikkeli tutkimuskentälle. Matkustajaliikenteen puolella uutuusarvo sekä tieteellinen että pragmaattinen kontribuutioarvo on pitänyt määritellä yksityiskohtaisemmin. Huomionarvoista on myös se, että monissa tavaraliikenneartikkeleissa esille nousivat myös kuljetusketjut. Tästä voidaan päätellä, että tavaraliikenteessä ketjuajattelu on voimakkaampaa kuin matkustajaliikenteessä.

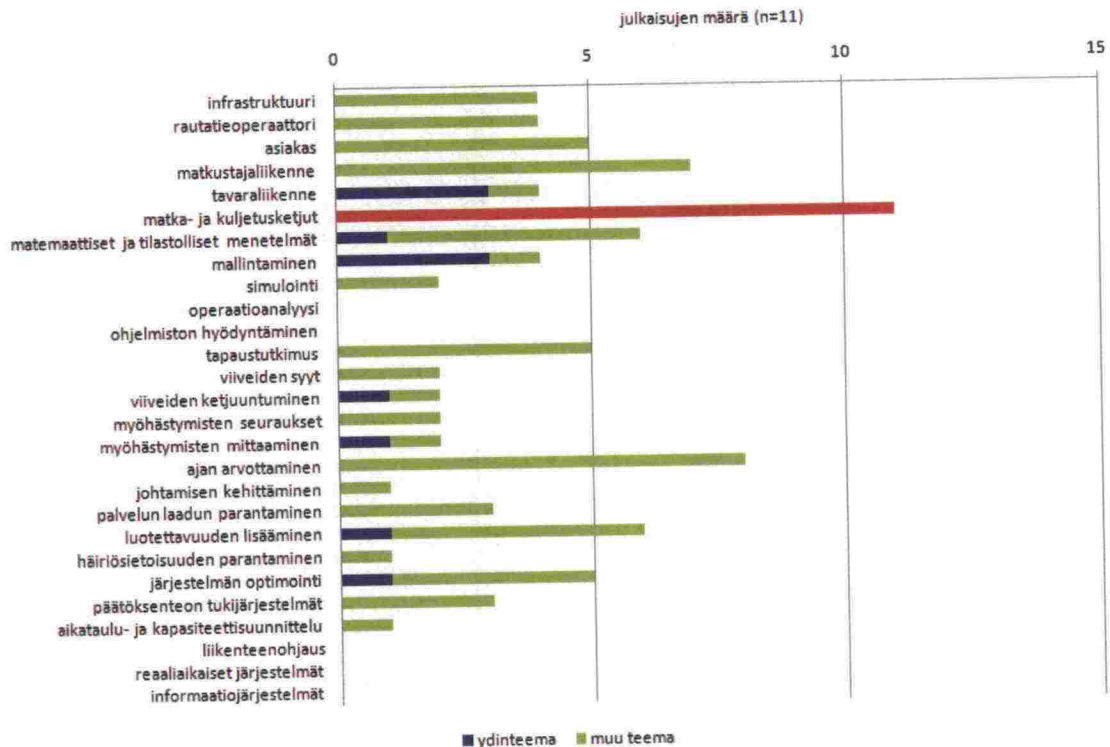
Lopuksi on syytä huomata, ettei esille nousseista artikkeleista yhdenkään näkökulma ollut puhtaasti täsmällisyydessä, vaan se oli pääsääntöisesti vain sivuroolissa. Voidaankin todeta, että tavaraliikenteen täsmällisyyden tutkimus on vielä hyvin lapsenkengissään.

### **5.7 Matka- ja kuljetusketjut**

Rautatieliikenteen täsmällisyys vaikuttaa myös junamatkojen tai kuljetusten ulkopuolella ja viiveiden seuraukset voivat levitä koko matka- tai kuljetusketjuun. Junaliikenteessä harvoin matka päättyy tai alkaa rautatieasemalle, mikä tarkoittaa, että junamatka on osa matka- tai kuljetusketjuja. Tämä näkökulma on tärkeä rautatieliikenteen täsmällisyystutkimuksessa.

Tässä luvussa nostetaan esille täsmällisyystutkimuksia, joissa päähuomio kiinnittyy matka- tai kuljetusketjuihin ja niiden erityispiirteisiin. Tutkimuksen tavoitteena voi olla esimerkiksi selvittää, miten junamatkan täsmällisyys vaikuttaa koko ketjun toimivuuteen tai vastaavasti, mitä vaatimuksia junamatka asettaa muun ketjun täsmällisyydelle. Koska kirjallisuuskatsaus käsittelee rautatieliikenteen täsmällisyyttä, on mukaan valittu vain sellaisia artikkeleita, joissa asiaa tarkastellaan ketjun junaosuuden kautta.

Kuvassa 5.6 esitetään muiden teemojen esiintyminen niissä 11 julkaisussa, joissa täsmällisyyttä on tarkasteltu matka- tai kuljetusketjujen näkökulmasta.



Kuva 5.6 Ydinteeman MATKA- JA KULJETUSKETJUT kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat.

Matka- tai kuljetusketjujen näkökulmasta rautatieliikenteen täsmällisyyttä on tutkittu kohtuullisen vähän, joten ainoastaan 11 julkaisun perusteella ei voida tehdä laajoja johtopäätöksiä. Kuvasta 5.6 kuitenkin nähdään, että kirjallisuuskatsauksen julkaisuissa ajan arvottaminen ja luotettavuuden lisääminen ovat teemoja, joita käsitellään yhdessä matka- tai kuljetusketjujen kanssa.

Raportin liitteenä on luettelo matka- ja kuljetusketjut -teemaa käsittelevistä julkaisuista. Mukana on 13 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus).

### 5.7.1 Epätäsmällisyyden hallinta matkaketjuissa

RIETVELD & BRUINSMA & VAN VUUREN. JOURNAL ARTICLE 2001.

#### COPING WITH UNRELIABILITY IN PUBLIC TRANSPORT CHAINS: A CASE STUDY FOR NETHERLANDS

Rietveld et al. (2001) tarkastelevat matkaketjujen luotettavuutta ja ajan arvoa matkustajan näkökulmasta. Artikkelissa perehdytään myös tilanteeseen Alankomaissa ja etsitään keinoja matkaketjun luotettavuuden parantamiseen.

Yhdeksi keinoksi matkaketjujen luotettavuuden parantamiseen esitetään pyöräilyä osana matkaketjua. Alankomaissa on havaittu, että pyöräily liityntäliikenteenä parantaa eniten liikenteen laatua ja matkaketjun luotettavuutta. Siellä pyöräilyolosuhteet ovat hyvät ja pyöräily on suosittu kulkumuoto, joten nämä tulokset eivät ole täysin yleistettävissä kaikkiiin maihin.



Matkaketjujen täsmällisyyden kannalta tärkeinä konkreettisina tekijöinä artikkelissa tarkastellaan vaihtoaikojen pidentämistä ja etuajassa kulun vähentämistä liityntäliikenteessä. Näillä tekijöillä voidaan parhaiten vaikuttaa matkaketjujen luotettavuuteen.

Kirjoittajat pitävät viiveiden esiintymistä erityisen hankalana matkaketjujen näkökulmasta. Matkaketjun ensimmäisessä osassa syntyvä viiden minuutin viive voi matkustajalle kertaantua menetettyjen yhteyksien kautta matkan määrääpäässä jopa 30 minuutin viiveeksi. Erityisen haastavia viiveet ovat tilanteissa, joissa kuljetusketju koostuu eri operaattoreiden hoitamasta liikenteestä, jolloin matkustajien ketjuajattelua ei operaattorin puolesta voida ottaa huomioon. Matkaketjun koostuminen eri operaattoreiden hoitamasta liikenteestä on yleistä.

Matkaketjujen luotettavuutta ei ole tutkittu systemaattisesti. Tässäkään tutkimuksessa ei käsitellä asiaa erityisesti rautatieliikenteen näkökulmasta, mikä vahvista sen, ettei rautatieliikenteen näkökulmasta tehtyä matkaketjujen luotettavuutta käsittelevää tutkimusta ole tehty paljoa.

Artikkelissa viitataan useaan hollanninkieliseen lähteeseen sekä seuraaviin täsmällisyyteen liittyviin julkaisuihin:

- Malachy, Carey. 1994. Reliability of interconnected scheduled services. *European Journal of Operational Research*, Vol. 79, Issue 1, p. 51–72. (Carey 1994)
- Malachy, Carey. 1998. Optimizing scheduled times, allowing for behavioural response. *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 32, Issue 5, p. 329–342. (Carey 1998)
- Hallowell, Susan & Harker, Patrick. 1998. Predicting on-time performance in scheduled railroad operations: methodology and application to train scheduling. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 32, Issue 4, p. 279–295. (Hallowell & Harker 1998)

Lisäksi ketjuihin liittyviä lähteitä ovat muun muassa:

- Allen, W.B. & Mahmoud, M.M. & McNeil, D. 1985. The importance of time in transit and reliability of transit for shippers, receivers and carriers. *Transport Research B* 19.
- Keijer, M. & Rietveld, P. 2000. How do people get to the railway station? A spatial analysis of the first and the last part of multimodal trips. *Journal of Transport Planning and Technology*.

Tämän artikkelin (Rietveld et al. 2001) ja sen lähteiden perusteella voidaan todeta, että Piet Rietveld on Alankomaissa tutkinut ja nostanut myös tieteellisesti esille ketjuajattelua rautatieliikenteessä.

### 5.7.2 *Matkustajaliikenteen odotusaikojen mallintaminen risteysasemilla*

CHANG & HSU. JOURNAL ARTICLE 2001.

#### **MODELING PASSENGER WAITING TIME FOR INTERMODAL TRANSIT STATIONS**

CHANG & HSU. JOURNAL ARTICLE 2003.

#### **MODELING OF PASSENGER WAITING TIME IN INTERMODAL STATION WITH CONSTRAINED CAPACITY ON INTERCITY TRANSIT**

Chang ja Hsu (2001) ovat mallintaneet matemaattisesti matkustajien odotusaikoja kaupunkien välisessä junaliikenteessä, jossa syöttöliikenne hoidetaan busseilla. Artikkelissa todetaan, että matkustajien käyttäytyminen pitkämatkaisen liikenteen asemilla poikkeaa selvästi käyttäytymisestä lähiliikenteen asemilla. Tutkimuksen tulokset tarjoavat suunnittelijoille analyyttisen mallin, jonka avulla he voivat tarkasti määrittää pitkämatkaisen liikenteen matkustajien odotusajan suhteen syöttöliikenteen luotettavuuteen.

Chang ja Hsu (2003) ovat kehittäneet malliaan edelleen. He jakavat matkustajat kahteen ryhmään, säännöllisiin ja satunnaisiin matkustajiin. Tutkimuksen tulokset osoittavat, että pitkämatkaisen liikenteen matkustajien keskimääräinen odotusaika on suurempi kuin puolet vuorovälistä silloin kun syöttöliikenteen luotettavuus on heikko. Toisaalta kaiken kaikkiaan keskimääräinen odotusaika on alle puolet vuorovälistä, mikäli syöttöliikenne on luotettavaa. Odotusaikoja on verrattu vuoroväliin, sillä perinteisesti matkustajien on arvioitu saapuvan asemalle tasaisen jakauman mukaan, jolloin keskimääräinen odotusaika on puolet vuorovälistä.

Bussiliikennettä tarkastellaan pitkämatkaisen liikenteen syöttäjänä, mutta samalla todetaan, että matkustajia saapuu asemalle myös muilla kulkumuodoilla. Yleisinä matkaketjun osina mainitaan metroliikenne, raitiotieliikenne, taksit, henkilöautot, pyöräily sekä kävely.

Täsmällisyys on odotusajan ja syöttöliikenteen välistä yhteyttä kuvaavassa mallissa otettu mukaan syöttöliikenteen luotettavuuden ja matkustajien suunnitteleman täsmällisyyden kautta.

### 5.7.3 *Matka- ja kuljetusketjujen täsmällisyyttä käsitteleviä muita julkaisuja*

GINKEL & SCHÖBEL. JOURNAL ARTICLE 2007.

#### **TO WAIT OR NOT TO WAIT? THE BICRITERIA DELAY MANAGEMENT PROBLEM IN PUBLIC TRANSPORTATION**

Ginkel ja Schöbel (2007) käsittelevät matkaketjuissa esiintyvien viiveiden problematiikkaa: pitäisikö liityntäliikenteen bussin odottaa myöhässä saapuvaa junaa vai ei? He kutsuvat tätä viiveiden hallinnaksi (*delay management*). Tavoitteena on minimoida matkustajille viiveistä aiheutuva haitta. Matkaketjuna on otettu huomioon myös vaihtaminen junasta toiseen.



Viiveiden hallinnan ongelmaan on esitetty useita yksittäisiä ratkaisuja, mutta Ginkel ja Schöbel esittelevät kahteen tekijään perustuvan mallin, jonka avulla voidaan ottaa huomioon sekä kulkuneuvon myöhästymisen että yhteyden menettävien matkustajien lukumäärä. Nämä tekijät perustuvat ajattelumalliin, jossa matkaketjussa voidaan valita viiveen ilmetessä kahden huonon vaihtoehdon välillä. Joko kaikki liityntäyhteydet odottavat ja kokonaisviive kasvaa suureksi, mutta matkustajat säilyttävät yhteydet, tai vain osa yhteyksistä odottaa, jolloin kokonaisviive on pienempi, mutta osa matkustajista menettää yhteyden ja heidän viiveensä kasvaa merkittävästi.

Malli ei perustu tarkkaan matkustajatietoon, minkä johdosta sitä voidaan helposti soveltaa käytännössä. Viiveidenhallintaongelman analysointiin esitetään kokonaislukuohjelmointikaavioon sekä verkkoteoriaan perustuva lähestymistapa. Menetelmien toimivuus esitellään todelliseen dataan perustuen. Artikkelissa todetaan, että yleisesti viiveidenhallintaongelmaa pyritään ratkaisemaan simuloinnin avulla.

Artikkelissa viitataan muun muassa viiveitä hyvin sietäviä aikatauluja käsitteleviin artikkeleihin:

- Liebchen C. & Stiller S. 2006. Delay resistant timetabling. Technical Report 2006/24, Technische Universität Berlin. Presented at CASPT'06.
- Liebchen, C. & Schachtebeck, M. & Schöbel, A. & Stiller, S. & Prigge, A. 2007. Computing delay-resistant railway timetables. Technical report, Institut für Numerische und Angewandte Mathematik, Georg-August Universität Göttingen. ARRIVAL Report TR-0066.

SCHÖBEL. CONFERENCE PROCEEDINGS 2007.

#### **INTEGER PROGRAMMING APPROACHES FOR SOLVING THE DELAY MANAGEMENT PROBLEM**

Schöbel (2007) tarkastelee artikkelissaan viiveidenhallintaa tilanteessa, jossa tulee tehdä päätös siitä, odottaako jatkoyhteyslinja-auto myöhässä olevaa junaa vai lähtee se aikataulussaan. Hän lähestyy ongelmaa matemaattisesti, ottaen huomioon sekä kulkuneuvojen viiveet että jatkoyhteyden menettävien asiakkaiden määrän. Tavoitteena on minimoida järjestelmän kokonaisviiveet ja asiakkaiden epämukavuus. Jälkimmäistä ilmaistaan keskimääräisenä myöhästymisenä määränpäässä. Tutkimuksessa hyödynnetään dataa todellisesta järjestelmästä. Lopputuloksena kirjoittaja esittää, kuinka ongelmaan löydetään optimaalinen ratkaisu lineaarisessa ajassa, kunhan tietyt ehdot täyttyvät.

DAAMEN & HOUBEN & GOVERDE & HANSEN & WEEDA. REPORT 2008.

#### **MONITORING SYSTEM FOR RELIABILITY OF RAIL TRANSPORT CHAINS**

Daamen et al. (2008) tarkastelevat erityisesti rautatieliikenteen matkaketjuja, joissa esiin nousevat muun muassa sekundääriset viiveet, eli viiveiden ketjuuntumisen rautatiejärjestelmän sisällä. Samalla kirjoittajat kuvaavat häiriötiedon kirjaamisen ja tiedonvälityksen tarpeellisuutta operaattorin ja radanpitäjän välillä.

HOUBEN & RIETVELD & VAN HAGEN & DAAMEN & MOLTZER. REPORT 2006.  
**IMPORTANCE OF RELIABILITY FOR TRANSPORTATION CHAINS. SUBJECTIVE VERSUS  
 OBJECTIVE RELIABILITY: CHANCES FOR INCENTIVES?**

Houben et al. (2006) kysyvät, kuinka tärkeää luotettavuus on asiakkaan kannalta. Tutkimuksessa käsitellään kattavasti luotettavuutta kuljetusketjuissa ja tarkastellaan epätasällisyyden syitä ja seurauksia matkustajien näkökulmasta. Luotettavuutta tarkastellaan koko matkaketjun osalta; huomioon otetaan siis muutakin kuin pelkkä junaliikenne. Julkaisua on tarkasteltu enemmän viiveiden seurauksien yhteydessä.

TAKAGI & GOODMAN & ROBERTS. CONFERENCE PROCEEDINGS 2004.  
**OPTIMISING DEPARTURE TIMES AT A TRANSPORT INTERCHANGE TO IMPROVE  
 CONNECTIONS WHEN SERVICES ARE DISRUPTED**

Takagi et al. (2004) tarkastelevat matkustajien näkökulmasta vaihtoyhteyksiä ja viiveiden vaikutuksia jatkoyhteyksien säilyttämiseen tai menettämiseen. Kyseessä on yleinen käytännön ongelma, kannattaako täyden junan odottaa vaihtavia matkustajia ja missä tilanteessa viiveen vaikutukset ovat pienimmät mahdolliset. Tutkimuksessa esitellään ongelman ratkaisemisen apuvälineeksi automaattista lähtöaikojen optimointia, ottaen huomioon junan viivästyminen.

#### **5.7.4 Yhteenveto ja johtopäätökset**

Matkaketjuajattelua on hyvin vähän rautatieliikenteen täsmällisyystutkimuksessa. Yleinen lähestymistapa luotettavuuteen ja täsmällisyyteen on muun muassa Rietveldin et al. (2001) mukaan se, että tarkastellaan yhden kulkumuodon, esimerkiksi junan, täsmällisyyttä. Useampia kulkumuotoja yhdistävien ketjujen täsmällisyyttä on tutkittu vähän. Tiedetään kuitenkin, ettei rautatieliikenne yksin palvele tavarankuljetuksia tai matkustajaliikennettä, vaan toimii pikemminkin runkokuljetuksena pitkillä matkoilla, eli on osa pidempää ketjua.

Matkaketjuja ja täsmällisyyttä koskevassa tutkimuksessa esiin nousee odotusaikoja käsittelevä tutkimus. On selvää, että epätasällisyys vaikuttaa ketjuissa yhteyksien toteutumiseen tai toteutumatta jäämiseen ja epätasällisyys voi helposti kasvattaa odotusaikoja. Odotusaikoihin keskittynyttä tutkimusta on erityisesti matkustajaliikenteessä. Matkaketjuja ei voida tutkia, ellei oteta huomioon matkustajanäkökulmaa, sillä ei voida ajatella, että yksin juna ja sen täsmällisyys muodostaisi ketjun. Paremmaksi lähestymistavaksi kirjallisuudessa todetaan matkustaja, joka kulkee lähtöpaikastaan määränpäähän muodostaen ketjun matkoja. Tästä syystä esimerkiksi täsmällisyyttä pitää tarkastella matkustajan näkökulmasta, jotta voidaan tarkastella täsmällisyyttä matkaketjuissa.

Tavaraliikenteen kuljetusketjuja ja täsmällisyyttä käsittelevä tutkimus käsittelee kuljetusketjuja ja esimerkiksi rautatiekuljetusten kilpailukykyä ketjujen osana, verrattuna tiekuljetuksiin. Tavaraliikenteen kuljetusketjututkimus pohtii kuljetusketjujen ja täsmällisyyden riippuvuutta terminaalitoiminnoista. Tavarankulkiessa ketjussa, jossa osana on rautatiekuljetus, tulee tavarankuljetuksen siirtyä kulkuvälineestä toiseen. Täsmällisyys on kriittistä juuri näissä vaihtopisteissä. Ongelma on identtinen matkustajaliikenteessä, jossa erityisesti vaihtoasemien täsmällisyys korostuu.



Täsmällisyyttä kuljetus- tai matkaketjujen näkökulmasta tulisi tutkia lisää. Kaiken kaikkiaan täsmällisyystutkimuksessa tulisi paremmin ottaa huomioon ketjujen näkökulma ja rautatieliikenteen rooli osana ketjuja, ei yksittäisenä kulkumuotona.

## 6 TARKASTELUMENETELMÄT TÄSMÄLLISYYSTUTKIMUKSESSA

### 6.1 Tarkastelumenetelmä-teemaryhmän tutkimus

Tutkimusmenetelmät ovat työkaluja, joiden avulla lähdeaineistosta voidaan muodostaa tuloksia. Käytännössä kaikissa tutkimuksissa on sovellettu vähintään yhtä tutkimusmenetelmää. Tässä luvussa on tarkasteltu artikkeleita, joissa jokin tutkimusmenetelmä on erityisesti esillä. Tarkoitus ei ole käydä läpi kaikkia artikkeleita, vaan esimerkinomaisesti havainnollistaa, miten eri menetelmiä käytetään täsmällisyyden tutkimuksessa. Menetelmiä ei myöskään ole luokiteltu kirjallisuudessa esitetyllä tavalla, vaan luokat on muodostettu sen perusteella, mitkä menetelmät artikkeleista nousi kirkkaimmin esille. Selvyyn vuoksi tämän luvun otsikossa on käytetty nimitystä tarkastelumenetelmä.

Luku on jaettu kuuteen alalukuun seuraavasti: *6.2 Matemaattiset ja tilastolliset menetelmät*, *6.3 Mallintaminen*, *6.4 Simulointi*, *6.5 Operaatioanalyysi*, *6.6 Ohjelmiston hyödyntäminen* ja *6.7 Tapaustutkimus*. On huomattava, että luvuissa käsiteltyjen menetelmien lisäksi tarkastelluissa artikkeleissa on käytetty muitakin tutkimusmenetelmiä, kuten haastatteluita. Laajasti ja systemaattisesti näitä menetelmiä ei kuitenkaan täsmällisyystutkimuksessa näytä olevan hyödynnetty.

### 6.2 Matemaattiset ja tilastolliset menetelmät

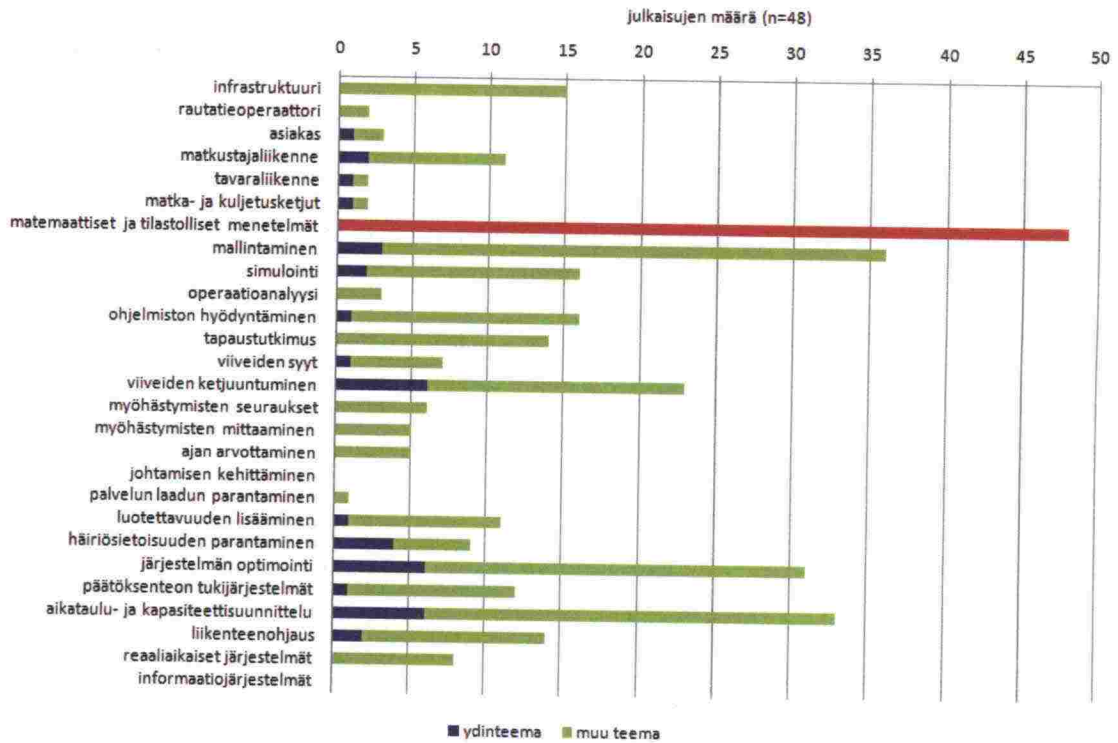
Tässä luvussa käsitellään tutkimuksia, joissa korostetaan jonkin matemaattisen menetelmän tai algoritmin kehittämistä, soveltamista tai testaamista täsmällisyyteen liittyvässä tutkimuksessa. Algoritmillä tarkoitetaan tässä yhteydessä säännönmukaista, mekaanista tai vaiheittaista lasku- tai ratkaisumenetelmää. Matemaattisin keinoin voidaan esimerkiksi tarkastella aikataulun häiriöherkkyyttä tai kehittää viiveidenhallintaa. Matemaattisille menetelmille on tyypillistä, että ne antavat tarkkoja vastauksia johonkin hyvin rajattuun ongelmaan. Kovin kompleksisia järjestelmiä niillä ei kuitenkaan voi tarkastella. Näin ollen menetelmillä tutkitaan yleensä jotakin pientä osajärjestelmää.

Matemaattisten menetelmien lisäksi luvussa tutustutaan artikkeleihin, joissa hyödynnetään tilastotiedettä. Täsmällisyystutkimuksessa tilastollisten menetelmien tyypillisiä sovelluskohteita ovat erilaisten lainalaisuuksien tarkastelu junien kulkutietoihin liittyvää dataa analysoimalla. Tässä yhteydessä tilastotieteeksi lasketaan myös tiedonlouhinta-menetelmät, vaikka ne liittyvät läheisesti myös ohjelmiston hyödyntämiseen. Tiedonlouhinnalle on myös tyypillistä, että lainalaisuuksiin liittyviä hypoteeseja ei tehdä etukäteen, vaan toivotaan niiden paljastuvan datasta.

Moni luvussa esitellyistä artikkeleista sopisi erinomaisesti myös mallintaminteemaan. Tämä johtuu siitä luonnollisesta syystä, että matemaattisin ja tilastollisin menetelmin pyritään yleensä luomaan malli todellisuudesta. Tähän lukuun valitut julkaisut ovat sellaisia, joissa esille nousevat erityisesti menetelmät, ei niinkään niillä tuotettu malli.

Teemaan kuuluvia julkaisuja on runsaasti. Kuvassa 6.1 on tarkasteltu niitä 48 julkaisua, joissa matemaattiset ja tilastolliset menetelmät ovat ydinteemana.





Kuva 6.1 Ydinteeman MATEMAATTISET JA TILASTOLLISET MENETELMÄT kanssa samoissa julkaisuissa käsitelty muut teemat.

Kuvasta 6.1 havaitaan jo todettu oletus, että teeman tutkimukset liittyvät usein myös mallintamiseen. Muita havaintoja kuvasta on, että matemaattisin ja tilastollisin menetelmin tarkastellaan erityisesti viiveiden ketjuuntumista, pyritään järjestelmän optimointiin sekä kehitetään aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelua.

Raportin liitteenä on luettelo matemaattiset ja tilastolliset menetelmät -teemaa käsittelevistä julkaisuista. Mukana on 101 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus).

Luvussa 6.2.1 tarkastellaan matemaattisten keinojen hyödyntämistä viiveidenhallinnassa. Aihe nousi voimakkaasti esille ja niinpä sitä käsittelevät artikkelit koottiin yhdeksi alaluvuksi. Luvussa 6.2.2 esitellään matemaattisten menetelmien hyödyntämistä muussa täsmällisyyteen liittyvässä tutkimuksessa. Luvussa 6.2.3 tarkastellaan tilastotiedettä hyödyntäviä tutkimuksia. Luvussa 6.2.4 tiivistetään tärkeimmät havainnot teeman tutkimuksesta.

### 6.2.1 Viiveidenhallinta matemaattisin keinoin

TOMII & TASHIRO & TANABE & HIRAI & MURAKI. JOURNAL ARTICLE 2005.  
**TRAIN RESCHEDULING ALGORITHM WHICH MINIMIZES PASSENGERS' DISSATISFACTION**

HIRAI & TOMII. JOURNAL ARTICLE 1998.  
**EVALUATION OF TRAIN INTERVAL ADJUSTMENT ALGORITHMS FOR CONGESTED METROPOLITAN RAILWAY LINES**

Tomii et al. (2005) esittelevät uudenlaisen lähestymistavan automaattiseen uudelleen-aikatauluttamiseen. Artikkelissa kuvataan algoritmi, joka eroaa muista aiemmista automaattisista menetelmistä sillä, että siinä pyritään minimoimaan matkustajien tyytymättömyys. Useimmiten minimoinnin kohteena ovat viiveet, junavuorojen peruutukset, aikataulun normalisoituminen tai matkustajille aiheutunut haitta.

Rautatieliikenteen uudelleen-aikataulutusta tarvitaan tilanteissa, joissa yksi juna jää häiriön vuoksi aikataulustaan jälkeen ja vaikuttaa näin muuhun liikenteeseen. Uudelleen-aikataulutus on haasteellista useista syistä johtuen:

- On vaikea määrittää yhtä kriteeriä, jonka perusteella aikataulutus tehtäisiin.
- Uudelleen-aikataulutus on laaja ja kombinatorinen ongelma.
- Ongelma vaatii usein välitöntä ratkaisua.
- Kaikkea tarvittavaa tietoa – matkustajamäärä, vaihtavien matkustajien määrä jne. – ei aina ole saatavilla.

Kirjoittajat pitävät matkustajien tyytymättömyyttä hyvänä kriteerinä uudelleen-aikataulutukseen, sillä asiakkaiden tyytymättömyys koostuu monista tekijöistä sisältäen muun muassa viiveet, perutut junavuorot ja vaihtojen menetykset. Kirjoittajat myös korostavat, että tilanteissa, joissa aikataulu pettää, on tärkeämpää ajatella asiakasta kuin esimerkiksi rautatieoperaattoria. On myös huomattava, että matkustajien kokema haitta ei ole yhtä hyvä kriteeri kuin tyytymättömyys, sillä haitan suuruutta on hyvin vaikea arvioida.

Kirjoittajat kuvaavat kehittämäänsä algoritmia nopeaksi ja monipuolisesti. Se hyödyntää eri metodeja ja ottaa samalla huomioon monia häiriötilanteisiin liittyviä tekijöitä.

Artikkeli on japanilaisten kirjoittama. Tämä näkyy heidän suhtautumisessaan täsmällisyyteen ja aikataulusuunnitteluun: täsmällisyyskulttuuri ja aikataulukäsitys poikkeavat länsimaisesta. Artikkelissa viitataan useaan japanilaiseen tutkimukseen sekä esimerkiksi seuraaviin julkaisuihin:

- Goodman, C. J. & Takagi, R. 2004. Dynamic re-scheduling of trains after disruption. COMPRAIL 2004.
- Murata, S. & Goodman, C. J. An optimal traffic regulation method for metro type railways based on passenger orientated traffic evaluation. COMPRAIL 1998.

Teemansa puolesta artikkeli olisi voitu käsitellä myös esimerkiksi reaaliaikaiset järjestelmät -teemassa. Artikkelissa on määritelty hyvin termi uudelleen-aikataulutus.



Hirai ja Tomii ovat julkaisseet toisen teemaan liittyvän artikkelin (Hirai & Tomii 1998) jo vuonna 1998. Siinä he arvioivat algoritmeja, joilla voidaan asiakkaat huomioon ottaen määrittää optimaaliset junien vuorovälit ruuhkatilanteissa. Mikäli juna saapuu asemalle aikataulustaan jääneenä, on sinne ehtinyt kerääntyä normaalia enemmän ihmisiä. Tällöin junan pysähtymisaika venyy ja viive vain kasvaa. Mikäli vuorovälejä ei tällaisessa tilanteessa muokata, viiveet ketjuuntuvat helposti. Myös tämän artikkelin tutkimusasetelmassa näkyvät japanilaisten normaalia tiukemmat vaatimukset täsmällisyydelle sekä matkustajavirtojen huomattavasti suuremmat volyymit.

GATTO & JACOB & PEETERS & WIDMAYER. CONFERENCE PROCEEDINGS 2007.  
**ONLINE DELAY MANAGEMENT ON A SINGLE TRAIN LINE**

GATTO & GLAUS & JACOB & PEETERS & WIDMAYER. JOURNAL ARTICLE 2004.  
**RAILWAY DELAY MANAGEMENT: EXPLORING ITS ALGORITHMIC COMPLEXITY**

Gatto et al. (2007, 2004) tarkastelevat ajantasaista viiveidenhallintaongelmaa yksiraiteisella rataosalla. Myös heidän lähtökohtanaan on asiakasnäkökulma: viiveidenhallinnan tavoitteena on minimoida matkustajille aiheutuvat viiveet optimoimalla liikenne niin, että juna odottaa vaihtavia matkustajia vain niissä tapauksissa, joissa se on kokonaisuuden kannalta kannattavaa. Lähestymistapa ongelmaan on matemaattinen, ja ratkaisua on haettu algoritmien avulla. Erityisesti vanhemmassa artikkelissa (Gatto et al. 2004) paino on erilaisten algoritmien soveltuvuuden tarkastelussa.

Kirjoittajien mukaan samaa ongelmaa on tutkittu jo paljon, mutta vain harvoissa tutkimuksissa ratkaistaan tilannetta ajantasaisena. Toisena tämän tyyppisenä tutkimuksena kirjoittajat mainitsevat Andereggin et al. (2002) artikkelin, joka on esitelty luvussa 8.6 Järjestelmän optimointi.

HEIDERGOTT & VRIES. JOURNAL ARTICLE 2001.

**TOWARDS A (MAX,+) CONTROL THEORY FOR PUBLIC TRANSPORTATION NETWORKS**

DE KORT & HEIDERGOTT & AYHAN. JOURNAL ARTICLE 2003.

**A PROBABILISTIC (MAX, +) APPROACH FOR DETERMINING RAILWAY INFRASTRUCTURE CAPACITY**

Heidergott ja Vries (2001) tarkastelevat raideliikennejärjestelmiä lineaarisen max plus -algebran avulla. Heidän tavoitteenaan on ratkaista valittu liikenteenohjausongelma sekä deterministisessä että stokastisessa tapauksessa. Ongelma on tuttu monesta muustakin tutkimuksesta: tulisiko jatkoyhteysjunan odottaa myöhässä olevaa junaa? Pyrkimyksenä on tällöin, että viiveiden ketjuuntuminen verkolla minimoituu ja mahdollisimman moni jatkoyhteys säilyy. Menetelmiensä ja tavoitteidensa puolesta artikkeli olisi sopinut moneen muuhunkin katsauksen teemaan, kuten mallintamiseen, viiveiden ketjuuntumiseen ja järjestelmän optimointiin.

Heidergott on kirjoittajana myös toisessa kirjallisuuskatsauksen artikkelissa (de Kort et al. 2003), jossa hyödynnetään max plus -menetelmää. Tässä artikkelissa tavoitteena on kuitenkin infrastruktuurin kapasiteetin määrittäminen täsmällisyyden jäädessä sivuosaan.

GINKEL & SCHÖBEL. JOURNAL ARTICLE 2004.

**TO WAIT OR NOT TO WAIT? THE BICRITERIA DELAY MANAGEMENT PROBLEM IN PUBLIC TRANSPORTATION**

SCHÖBEL. CONFERENCE PROCEEDINGS 2007.

**INTEGER PROGRAMMING APPROACHES FOR SOLVING THE DELAY MANAGEMENT PROBLEM**

Myös Gingel ja Schöbel (2007) tarkastelevat artikkelissaan viiveidenhallintaa. He lähestyvät ongelmaa matemaattisesti, ottaen huomioon sekä kulkuneuvojen viiveet että jatkoyhteyden menettävien asiakkaiden määrän. Koska tarkastelun kohteena ovat matkaketjut junasta linja-autoon, artikkeli on esitelty tarkemmin luvussa 5.7 Matka- ja kuljetusketjut. Samaan tutkimukseen liittyy myös Schöbelin (2007) yksin kirjoittama artikkeli, jota on myös tarkasteltu matka- ja kuljetusketjujen yhteydessä. Tarkastelutapansa puolesta artikkeleita olisi voitu tarkastella myös luvussa 6.3 Mallintaminen tai tavoitteidensa puolesta luvussa 8.6 Järjestelmän optimointi.

CICERONE & D'ANGELO & DI STEFANO & FRIGIONI & NAVARRA. CONFERENCE PROCEEDINGS 2008.

**DELAY MANAGEMENT PROBLEM: COMPLEXITY RESULTS AND ROBUST ALGORITHMS**

Myös Cicerone et al. (2008) lähestyvät viiveidenhallintaa matemaattisin menetelmin. Edellisistä artikkeleista poiketen he kuitenkin pyrkivät vaikuttamaan ongelmaan proaktiivisesti: tarkastelun kohteena ovat algoritmit, joiden avulla voidaan kehittää mahdollisimman häiriösietoisia aikatauluja. Artikkelia on käsitelty tarkemmin luvussa 8.5 Häiriösietoisuuden parantaminen.

**6.2.2 Matemaattiset menetelmät muissa täsmällisyyteen liittyvissä julkaisuissa**

MATTSSON. BOOK SECTION 2007.

**RAILWAY CAPACITY AND TRAIN DELAY RELATIONSHIPS**

Mattsson (2007) on kattavasti tarkastellut kapasiteetin ja viiveiden välistä suhdetta sekä erilaisia menetelmiä, joilla tätä suhdetta voidaan kuvata. Julkaisussa esitellään ensin rautatieliikenteen kapasiteetin perusteita ja tämän jälkeen kuvataan kolme vaihtoehtoa tutkia primääri viiveiden sekä kapasiteetin yhteyttä sekundäärisiin viiveisiin:

- analyyttiset menetelmät
- mikrosimulaatio
- empiiriseen aineistoon perustuvat tilastolliset menetelmät.

Näiden kolmen menetelmän avulla voidaan määrittää, kuinka kapasiteetin käyttöaste vaikuttaa epäluotettavuuteen tai viiveiden riskiin.

Analyyttisten menetelmien kirjoittaja kuvaa olevan nopeampia erityisesti simulointiin verrattuna. Niissä käytetään usein samoja tekijöitä kuin jonoteorioissa ja optimoinnissa, johtaen helposti matemaattisiin ongelmiin ja sitä kautta yksinkertaistuksiin. Analyyttisistä menetelmistä ja niiden tutkimuksesta nousee esiin Carey, joka kuvaa tutkimuksessaan (Carey 1999) erilaisten viiveiden takana olevaa järjestelmää. Artikkelia on kuvattu myös tässä tutkimuksessa. Kirjoittajan mukaan analyyttisiä menetelmiä hyödynnetään myös monissa muissa tutkimuksissa (ks. esim. de Kort et al. 2003, Huisman & Boucherie 2001).



Simuloinnin Mattsson (2007) kuvaa olevan yleisin tapa tarkempaan mallintamiseen, johon sitä onkin käytetty. Simuloinnin etuna on tarkkuus ja mahdollisuus ratkaista kompleksisiakin prosesseja. Toisaalta simulointityökalut voivat olla aikaavieviä. Kuitenkaan simulointimalleja ei ole juurikaan hyödynnetty kuvaamaan viiveiden ja kapasiteetin välistä yhteyttä. Yhtenä, vaikkei tyypillisenä simulointitutkimuksena Mattsson mainitsee Rietveldin tutkimuksen (Rietveld et al. 2001), jossa matka-ajan epäluotettavuutta tarkastellaan matkustajien näkökulmasta.

Empiiriseen aineistoon perustuvista tilastollisista menetelmistä kirjoittaja nostaa esiin Gibsonin urauurtavan tutkimuksen (Gibson et al. 2002), jossa kuvataan muun muassa sekundääristen viiveiden kustannuksia primääristen viiveiden kautta.

Muiden menetelmien heikkouksista johtuen Mattsson (2007) esittää, että analyttiset menetelmät tarjoavat ainoan realistisen vaihtoehdon primääristen viiveiden mallintamiseen. Hän toteaa, ettei rautatieliikenteen luotettavuutta ja herkkyyttä ole juurikaan tutkittu, vaikka liikenneverkkojen osalta tällaista tutkimusta on tehty. Rautatieliikenteessä luotettavuus on useimmiten liitetty matka-aikaan ja erityisesti viiveiden mallintamiseen ja viiveiden ja kapasiteetin väliseen yhteyteen.

Viiveiden minimointiongelmaa pohdiskellessaan kirjoittaja tuo esille myös nykyisin vallalla olevan näkökulman, jossa minimoidaan junien viiveitä, vaikka enemmän merkitystä olisi minimoida matkustajille tai tavaralle aiheutuneet viiveet. Tämä vaatisi painottamista matkustaja- tai tavaramäärällä.

D'ARIANO & PACCIARELLI & PRANZO. JOURNAL ARTICLE 2008.

#### ASSESSMENT OF FLEXIBLE TIMETABLES IN REAL-TIME TRAFFIC MANAGEMENT OF A RAILWAY BOTTLENECK

D'Ariano et al. (2008b) tarkastelevat aikataulujen joustavuutta ja muokkaamista reaaliajassa tilanteen mukaan. Aiheelle kehitetään vahva matemaattinen kehys, minkä jälkeen vertaillaan laskennallisesti neljää eri algoritmia, joilla uusia aikatauluja voidaan nopeasti laskea. Yleisesti käytössä oleva *first come first serve* -algoritmi (FCFS) tuotti suurimmat keskimääräiset ja maksimiviiveet, kun taas tekijän oma *branch and bound* -ratkaisu menestyi parhaiten. Toisaalta algoritmi vaati eniten laskenta-aikaa, kun taas FCFS:llä laskenta tapahtui lähes reaaliajassa. Muut vertailun algoritmit, *first leave first serve* (FLFS) sekä Masciksen ja Pacciarellin esittelemä AMCC, johon artikkelissa viitataan, sijoittuivat näiden välimaastoon.

Keskeinen havainto on, että joustavilla aikatauluilla, joissa hyödynnetään aikaikkunoita tarkkojen lähtö- ja saapumisaikojen sijaan, voidaan saavuttaa samalla liikennemäärällä parempi täsmällisyys kuin jäykkiä aikatauluja käyttäen. Jos vastaavasti asetetaan myöhästymisille tietty sallittu raja, joustavilla aikatauluilla voidaan saavuttaa suurempi kapasiteetti ja näin kaiken kaikkiaan tehokkaampi infrastruktuurin käyttö.

D'Ariano Delftin teknillisestä yliopistosta on tehnyt pitkäjänteisesti tutkimusta rautatieliikenteen parissa, ja myös tässä katsauksessa on esitelty useita hänen julkaisujaan. Niitä on käsitelty laajasti esimerkiksi reaaliaikaiset järjestelmät -teemassa.

GOVERDE. DISSERTATION 2005.

**PUNCTUALITY OF RAILWAY OPERATIONS AND TIMETABLE STABILITY ANALYSIS**

GOVERDE. JOURNAL ARTICLE 2007.

**RAILWAY TIMETABLE STABILITY ANALYSIS USING MAX-PLUS SYSTEM THEORY**

Goverde Delftin teknillisestä yliopistosta käsittelee väitöskirjassaan (Goverde 2005) ja muissa tutkimuksissaan (ks. esim. Goverde 2007), rautatieliikenteen täsmällisyyttä ja rautatieliikenteen aikataulujen analysointia Alankomaiden näkökulmasta. Hänen lähestymistapansa aiheeseen on hyvin matemaattinen. Tutkimuksissa käsitellään esimerkiksi lineaarisen max-plus-järjestelmän käyttöä aikataulujen mallintamisessa, sekä näiden lineaaristen järjestelmien analysointia algoritmien avulla stabiiliuden, toteutettavuuden, häiriösietoisuuden ja viiveiden ketjuuntumisen suhteen. Väitöskirjaa ja muita Goverden tutkimuksia on tarkasteltu tarkemmin muun muassa luvuissa 7.3 Viiveiden ketjuuntuminen ja 8.5 Häiriösietoisuuden parantaminen.

HANSEN. CONFERENCE PROCEEDINGS 2000.

**STATION CAPACITY AND STABILITY OF TRAIN OPERATIONS**

Hansen (2000) vertailee jonoteorioiden ja max-plus-algebran hyödyntämistä kapasiteetin määrittämisessä. Artikkelin on esitelty tarkemmin luvussa 9.3 Aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelu.

CAREY & KWIECINSKI. JOURNAL ARTICLE 1995.

**PROPERTIES OF EXPECTED COSTS AND PERFORMANCE MEASURES IN STOCHASTIC MODELS OF SCHEDULED TRANSPORT**

Carey ja Kwiecinski (1995) käsittelevät aikataulumuutosten vaikutuksia liikennejärjestelmään käyttäen tarkastelussa esimerkkinä rautateiden matkustajaliikennettä. Artikkelissa kuvataan matemaattinen malli, jonka avulla vaikutuksia voidaan arvioida. Matemaattisella tarkastelulla on artikkelissa merkittävä osuus, painottuen muun muassa mallin todistamiseen.

TAKAGI & WESTON & GOODMAN & BOUCH & ARMSTRONG & PRESTON & SONE.  
CONFERENCE PROCEEDINGS 2006.

**OPTIMAL TRAIN CONTROL AT A JUNCTION IN THE MAIN LINE RAIL NETWORK USING A NEW OBJECT-ORIENTED SIGNALLING SYSTEM MODEL**

Takagi et al. (2006) tarkastelevat, kuinka ruuhkaisen pääradan solmukohdan liikenteenohjaus voitaisiin toteuttaa mahdollisimman optimaalisesti siten, että viiveiden ketjuuntuminen minimoituu. He toteavat, että yhden solmun optimointi johtaa helposti siihen, että muissa solmukohdissa ongelmat kasvavat. Niinpä he kehittävät numeerisen optimoinnin keinoin algoritmin, joka minimoi junien painotetut kokonaisviiveet. Algoritmi voidaan yhdistää simulointiohjelmistoon, jolloin suurien järjestelmien tarkastelu on mahdollista. Menetelmiensä puolesta artikkelia olisi voitu käsitellä myös luvussa 6.4 Simulointi. Tavoitteensa puolesta se taas olisi sopinut 8.6 Järjestelmän optimointi tai 9.4 Liikenteenohjaus -lukuun.



ZHANG & XU & ZHAO. CONFERENCE PROCEEDINGS 2008.

**THE APPLICATION OF DYNAMIC PLANNING ALGORITHM IN AUTOMATIC ADJUSTMENT OF TRAIN OPERATION STAGE SCHEDULE FOR RAILWAY JUNCTION**

Zhang et al. (2008) muodostavat matemaattisen mallin, jolla voidaan automaattisesti muokata risteysasemakohtaista aikataulua siten, että viiveiden painotettu summa minimoituu. Mallissa otetaan huomioon junien prioriteettijärjestys, junien väliset minimiajat, ajoajat eri rataosuuksilla, pysähtymis- ja kiihdyttämisajat, asemaraiteiden kapasiteetit sekä lähtö- ja pysähtymisaikojen reunaehdot asemilla. Mallin lisäksi he hyödyntävät dynaamista suunnittelualgoritmia. Sovelluksen avulla liikenteenohjaajat saavat reaaliajassa tiedon optimaalisesta aikataulutuksesta. Menetelmää on sovellettu menestyksekkäästi kiinalaisella risteysasemalla. Artikkelin kirjoittajista kukaan ei ole mukana katsauksen muissa artikkeleissa.

WANG & ZHENG & ZHANG & LIU. JOURNAL ARTICLE 2008.

**MATHEMATICAL MODEL AND ALGORITHM FOR AUTOMATICALLY PROGRAMMING THE STAGE PLAN OF MARSHALLING STATION**

Myös Wang et al. (2008) esittelevät matemaattisen mallin, jolla voidaan automaattisesti luoda aikataulu siten, että kokonaisviiveet minimoituvat. Kohteena heillä on järjestelyratapiha. Sovellusta varten kehitetään kolme matemaattista mallia, joista kukin ratkaisee osan ongelmasta. Mallit yhdistämällä tutkijat muodostavat päätöksenteon tukijärjestelmän, joka auttaa liikenteenohjaajia aikataulutuksessa. Järjestelmä on myös otettu käyttöön kiinalaisella ratapihalla. Myöskään tältä tutkijaryhmältä ei katsauksessa noussut esille muita julkaisuja.

ENGELHARDT-FUNKE & KOLONKO. JOURNAL ARTICLE 2004.

**ANALYSING STABILITY AND INVESTMENTS IN RAILWAY NETWORKS USING ADVANCED EVOLUTIONARY ALGORITHMS**

Engelhardt-Funke ja Kolonko (2004) hyödyntävät kehittyneitä evolutionaarisia algoritmeja tutkiessaan rautatiejärjestelmän vakautta sekä investointien kannattavuutta. Mallinnuksen kohteena on järjestelmä, jossa junat liikennöivät tasaisin väliajoin. Malli sisältää satunnaisia junien viiveitä sekä ottaa huomioon niiden ketjuuntumisen. Kirjoittajien mukaan erilaisilla investoinneilla voidaan lisätä junien nopeutta sekä parantaa niiden synkronointia. Tällaisista investoinneista laaditaan hyöty-kustannus-analyysseja siten, että hyöty määritellään junaa vaihtavien matkustajien odotusajan lyhentymisenä. Järjestelmän vakautta puolestaan tarkastellaan jonoteorioita hyödyntävällä simulointimallilla. Kirjoittajat eivät esiinny katsauksen muissa artikkeleissa.

JIA & CHEN & HO & MAO & BAI. CONFERENCE PROCEEDINGS 2008.

**A HEURISTIC ALGORITHM FOR FIXED TRAIN RUNTIME**

Jia et al. (2008) esittelevät aluksi junien virtausmallin, jossa ajoajat on etukäteen määriteltä. Mallia voidaan hyödyntää, kun yksittäisille junille määritellään koko reitin pituiset liikenteenohjausstrategiat. Tällöin tavoitteena on minimoida saapumisviiveet kullekin reitin asemalle. Junan liike on kuitenkin epälineaarista, koska siihen vaikuttaa monimutkainen toimintaympäristö erilaisine rajoitteineen. Näin ollen kirjoittajat kehittävät heuristisen algoritmin, jonka avulla liikettä voidaan tarkastella totuudenmukaisemmin ja siten mukauttaa liikenteenohjausstrategiaa sellaiseksi, että asemille saavutaan täsmällisemmin.

Kehitettyä algoritmia voidaan kirjoittajien mukaan hyödyntää myös arvioitaessa liikennöinnin luotettavuutta aikataulutetussa liikenteessä. Tarkastelutapansa puolesta julkaisua olisi voitu tarkastella myös luvussa 6.3 Mallintaminen.

LEE & SHENG & GUO. CONFERENCE PROCEEDINGS 1993.

#### **FAST AND RELIABLE ALGORITHM FOR RAILWAY TRAIN ROUTING**

Lee et al. (Lee et al. 1993) esittelevät mielestään erittäin nopean ja luotettavan algoritmin junien reititykseen. He osoittavat, että viiveitä pystytään vähentämään merkittävästi hyödyntämällä algoritmiin sisällytettyjä vaihteiden valintasääntöjä. Julkaisu on jo vanha, eikä kirjallisuuskatsauksessa ole tekijöiden muita julkaisuja.

RODRIGUEZ. CONFERENCE PROCEEDINGS 2008.

#### **AN INCREMENTAL DECISION ALGORITHM FOR RAILWAY TRAFFIC OPTIMISATION IN A COMPLEX STATION**

Rodriguez (2008) vertailee kahta erilaista heuristista algoritmia, joiden avulla voidaan minimoida viiveiden ketjuuntuminen asemilla. Julkaisua on käsitelty tarkemmin luvussa 8.6 Järjestelmän optimointi.

### **6.2.3 Tilastoanalyttinen lähestymistapa rautatieliikenteen täsmällisyyteen**

PETERS & EMIG & JUNG & SCHMIDT. CONFERENCE PROCEEDINGS 2005.

#### **PREDICTION OF DELAYS IN PUBLIC TRANSPORTATION USING NEURAL NETWORKS**

Peters et al. (2005) hyödyntävät tutkimuksessaan neuroverkkoja. Neuroverkot on tiedonlouhintamenetelmä, jossa verkko oppii lainalaisuuksia sinne syötetystä historia-datasta, ja siten pystyy ennakoimaan tulevia tapahtumia. Julkaisussa kuvataan tutkimusta, jossa kehitetään neuroverkkoihin perustuvaa älykästä järjestelmää reaaliaikaiseen aikataulujen optimointiin ja valvontaan.

Tutkijoiden kehittämän järjestelmän tavoitteena on pyrkiä historiatiedon avulla ennakoimaan tulevia viiveitä ja sen avulla muokkaamaan aikatauluja viiveiden ketjuuntumisen välttämiseksi. Kirjoittajat esittelevät järjestelmän sen osan, jonka tarkoituksena on prosessoida järjestelmään tapahtuneet primääriviiveet, joiden perusteella voidaan ennakoida lähitulevaisuuden sekundääriset viiveet.

Kirjoittajat toteavat, että perinteisin menetelmin viiveiden ketjuuntumista on hyvin vaikea mallintaa. Se edellyttäisi, että malliin sisällytetään säännöt kaikista erilaisista skenaarioista, joissa junan viive vaikuttaa toiseen junaan. Käytännössä tämä on kompleksisessa rautatieliikennejärjestelmässä mahdotonta ja joudutaan turvautumaan yksinkertaistuksiin. Sen sijaan neuroverkko oppii jatkuvasti siihen syötetystä datasta, jolloin se lopulta osaa ennakoida viiveiden muodostumista paremmin kuin sääntöpohjainen malli.

Tutkimuksen pohjana toimii osa Deutsche Bahnin rataverkosta. Käytetty data kattaa yksittäisen risteysaseman, jossa on sekä lähi- että kaukoliikennettä. Simulointeihin tutkijaryhmä käyttää SNNS-työkalua (Stuttgart Neural Network Simulator). Neuroverkon luotettavuutta tutkijat selvittävät vertaamalla sen tuloksia kehittämänsä sääntöpohjaisen järjestelmän tuloksiin.



Tutkimuksen perusteella kirjoittajat suosittelevat neuroverkkojen hyödyntämistä tämänkaltaisessa käytössä. He kuitenkin toteavat, että jatkotutkimusta tarvitaan vielä paljon. Heidän mukaansa tarvittaisiin esimerkiksi järjestelmä, joka automatisoisi rautatieverkon arkkitehtuurin syöttämistä järjestelmään. Tähän liittyen tulisi määrittää, mitkä osat verkosta ovat kiinteitä, mitkä taas tulisi säilyttää muokattavina tulevaisuuden muutoksia silmällä pitäen. Lisäksi tutkijat toteavat, että täsmällisyyteen liittyvän datan prosessointia tulisi kehittää ja standardisoida.

VUKADINOVIC & TEODOROVIC & PAVKOVIC & ROSIC. JOURNAL ARTICLE 1996.

**A NEURAL NETWORK APPROACH TO MITIGATION OF VEHICLE SCHEDULE DISTURBANCES**

Myös Vukadinovic et al. (1996) hyödyntävät tutkimuksessaan neuroverkkoja. Artikkelin esittelee liikenteenohjausta tukevan päätöksenteon tukityökalun, jonka tarkoituksena on pienentää liikenteenohjaajien työkuormaa ja parantaa tehtyjen päätösten laatua. Artikkelin on esitelty tarkemmin luvussa 9.2 Päätöksenteon tukijärjestelmät.

CHEN & HARKER. CONFERENCE PROCEEDINGS 1990.

**TWO MOMENTS ESTIMATION OF THE DELAY ON SINGLE-TRACK RAIL LINES WITH SCHEDULED TRAFFIC**

Chen ja Harker (1990) tarkastelevat matemaattisin menetelmin junien viiveitä yksiraiteisilla osuuksilla, ottaen huomioon poikkeamat sekä lähtö- että saapumisajoissa. Kirjoittajien mukaan on olemassa paljon tutkimuksia, joissa viiveiden muodostumista tarkastellaan siten, että junat ovat jakaantuneet rataosuudelle tasaisin väliajoin. Sen sijaan lähtöaikojen poikkeamia ei ole otettu huomioon ennen tätä tutkimusta. Kirjoittajat korostavat, että tapahtuneiden viiveiden varianssi on tärkeä seikka aikataulun luotettavuuden tarkastelussa. Niinpä tutkimuksessa arvioidaan syntyneiden viiveiden keskiarvon lisäksi myös niiden varianssia, ratkaisemalla järjestelmästä luotu epälineaaristen yhtälöiden joukko.

Julkaisun laatua tarkastellessa tulee ottaa huomioon, että se on jo vuodelta 1990. Toinen kirjoittajista, Harker, on kirjallisuuskatsauksessa myös kahden muun artikkelin tekijänä, joskin nekin ovat molemmat 1990-luvulta.

YUAN & HANSEN. CONFERENCE PROCEEDINGS 2002.

**PUNCTUALITY OF TRAIN TRAFFIC IN DUTCH RAILWAY STATIONS**

Yuanin ja Hansenin (2002) mukaan täsmällisyys on matkustajaliikenteessä kriittinen suorituskykymittari. Kirjoittajat ovat analysoineet tilastollisesti Den Haag HS -rautatieaseman junaliikennettä. Sen perusteella saapumisten täsmällisyys on melko hyvä, mutta asemalla viiveet kasvavat useimpien linjojen tapauksessa. Saapumisviiveet noudattavat tutkimuksen mukaan eksponentiaalista jakaumaa, kun taas pysähtymisaikojen ylityksiä luonnehtii normaalijakauma. Tutkimuksen pohjalta kirjoittajat esittelevät stokastisen viiveiden muodostumismallin, jonka avulla pystytään melko hyvin ennakoimaan myöhässä saapuneiden junien lähtötäsmällisyyttä.

Kirjoittajat kuuluvat Delftin teknillisen yliopiston tutkijaryhmään, joka on tutkinut paljon rautatieliikenteen täsmällisyyttä. Ryhmän tutkimuksia on esitelty laajasti luvussa 7.3 Viiveiden ketjuuntuminen.

MAO & YANG & WANG. CONFERENCE PROCEEDINGS 1998.

**STATISTICAL AND SIMULATION-BASED MODELS FOR PROGRESSION PREDICTION OF TRAIN DELAYS ON BUSY RAILWAY LINES**

Mao et al. (1998) esittelevät kaksi mallia, joilla junien viiveitä voidaan ennakoida ja sitä kautta vähentää. Ensimmäinen malli perustuu tilastolliseen analyysiin, jälkimmäinen simulointiin. Artikkelia on käsitelty tarkemmin luvussa 7.3 Viiveiden ketjuuntuminen.

BRIGGS. JOURNAL ARTICLE 2007.

**MODELLING TRAIN DELAYS WITH Q-EXPONENTIAL FUNCTIONS**

Briggs (2007) kuvaa q-eksponentiaalifunktioiden avulla viiveiden hajautumista Britannian rautatieverkolla. Tutkimuksessa käytetty data perustuu Britannian rataverkolta kerättyyn ajantasaiseen liikennetietoon, joka on verkossa saatavilla. Laaja-alaisen materiaalin avulla on pystytty tutkimaan viiveiden jakaumaa ja havaittu, että viiveitä on mahdollista mallintaa q-eksponentiaalifunktioiden avulla. Tarkastelumenetelmänä tutkimuksessa on hyödynnetty mallintamista.

GORMAN. JOURNAL ARTICLE 2009.

**STATISTICAL ESTIMATION OF RAILROAD CONGESTION DELAY**

Gorman (2009) tutkii tavaraliikenteen ruuhkaantumisten syitä ekonometrisin metodein tilastollisen datan avulla. Artikkelia on käsitelty tarkemmin luvussa 5.6 Tavaraliikenne.

CHANDESIRIS. CONFERENCE PROCEEDINGS 2006.

**STATISTICAL METHOD FOR THE EVALUATION OF RAILWAY SYSTEMS MODIFICATIONS**

Chandesrisin (2006) tutkimuksen tavoitteena on ollut kehittää Ranskan Valtionrauteille (SNCF) tilastollisia menetelmiä rautatieverkon häiriöherkkyyden arvioimiseen ja kehittää näihin menetelmiin perustuva päätöksentekotyökalu. Artikkelia on käsitelty tarkemmin luvussa 8.5 Häiriösietoisuuden parantaminen.

MEESTER & MUNS. JOURNAL ARTICLE 2007.

**STOCHASTIC DELAY PROPAGATION IN RAILWAY NETWORKS AND PHASE-TYPE DISTRIBUTIONS**

Meester ja Muns (2007) käsittelevät yleistä mallia viiveiden ketjuuntumisen mallintamiseen sekä osoittavat, että phase-type-jakaumien avulla primääri viiveiden jakaumista voidaan johtaa sekundääri viiveiden jakaumat.

#### **6.2.4 Yhteenveto ja johtopäätökset**

Rautatieliikennejärjestelmä ja sen osajärjestelmät ovat erinomaisia kohteita matemaattiselle ja tilastolliselle tarkastelulle. Tämä johtuu muun muassa siitä, että järjestelmä sisältää paljon staattisia ja rajoittavia asioita, kuten infrastruktuuri ja aikataulut, mutta myös paljon dynaamisia muuttujia, kuten junat ja matkustajat. Dynaamisille muuttujille on lisäksi tyypillistä, että niiden välillä on voimakkaita syy-seuraus-suhteita, kuten viiveiden ketjuuntuminen ja myöhästymisten vaikutus matkustajien tyytyväisyyteen. Matemaattisen ja tilastollisen tarkastelun kannalta tämä tarkoittaa sitä, että järjestelmä on hedelmällinen yhdistelmä erilaisia reunaehtoja, kuten ratakapasiteetti, ja niiden puitteissa optimoitavia asioita, kuten kokonaisviiveiden minimointi.



Järjestelmän sopivuus tämäntyyppiseen tarkasteluun näkyy selvästi myös tässä kirjallisuuskatsauksessa. Teemaan sopivia artikkeleita nousi esille runsaasti ja erityisesti viiveidenhallinta ja viiveiden ketjuuntuminen korostui. Viiveidenhallinnan tavoitteena on minimoida valittu muuttuja, kuten matkustajien kokonaisviiveet, jonkin häiriön sattuessa. Moni tällaisista tutkimuksista tarkasteli matemaattisesti tilannetta, jossa tulisi tehdä päätös siitä, odottaako jatkoyhteysjuna myöhässä olevaa junaa. Tässä havaitaan myös tämäntyyppisten tutkimusten ongelma: useimmat niistä tarkastelevat hyvin rajoittunutta osajärjestelmää, jolloin vaarana on osaoptimointi. Näissäkään yksinkertaisissa tapauksissa optimoitava asia ei vaikuta olevan yksiselitteinen: yksi minimoi matkustajien kokonaisviivettä, toinen esimerkiksi viiveiden ketjuuntumista. Silti esimerkiksi monioperaattorijärjestelmien tarkastelua ei juuri esiinny. Niiden kohdalla asia olisi vielä huomattavasti monimutkaisempi esimerkiksi operaattoreiden prioriteettijärjestyksen vuoksi.

Viiveidenhallinnan kannalta mielenkiintoisin tutkimus esiteltiin Tomiin et al. (2005) artikkelissa. Siinä tavoitteena on ollut maksimoida matkustajien tyytyväisyys, mikä pitää sisällään monia yksittäisiä optimoitavia asioita, kuten viiveet, junavuorojen peruutukset ja vaihtojen menetykset.

Viiveidenhallinnan lisäksi matemaattisia menetelmiä on hyödynnetty myös monissa muissa täsmällisyyteen liittyvissä tarkasteluissa. Erityisesti esille nousevat aikataulujen suunnitteluun ja niiden suorituskyvyn arviointiin liittyvät algoritmit ja menetelmät. Esimerkiksi max plus -algebraa on hyödynnetty paljon. Myös liikenteenohjauksen tukena käytetyt matemaattiset algoritmit ja työkalut esiintyvät useasti. Menetelmien käyttöalue on tutkimuksissa melko rajattu – esimerkiksi ekonometristä tarkastelua ei juuri ole.

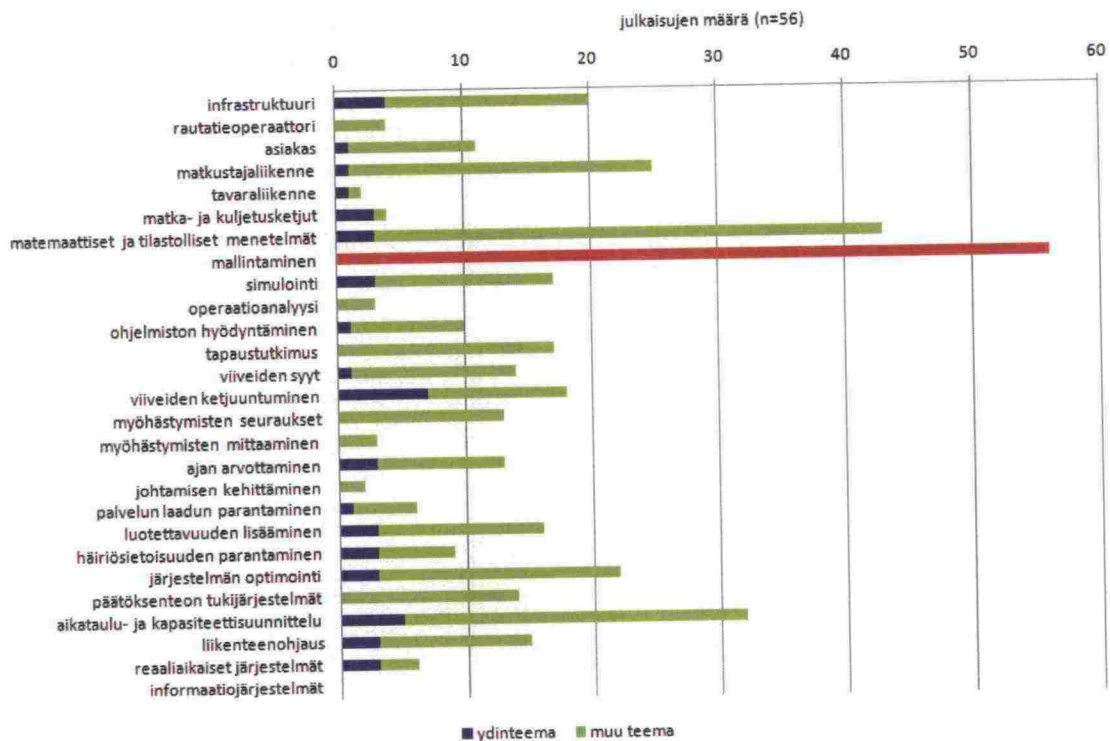
Myös tilastollisia menetelmiä hyödyntäviä artikkeleita nousi esille runsaasti. Niissä huomattavan monessa pyrittiin tilastollisen datan avulla sijoittamaan erilaisia ilmiöitä tunnettuihin jakaumamalleihin. Jakaumia etsittiin esimerkiksi saapumisviiveille ja erilaisille sekundaarisille viiveille. Myös näille tarkasteluille tuntuu olevan ominaista, että tarkasteltavana on melko suppea osajärjestelmä. Lisäksi tarkastelu näyttää olevan hyvin rautatiejärjestelmäkeskeistä, eikä ydinjärjestelmän ulkopuolisia asioita, kuten matkustajia tai taloudellisia asioita juuri oteta huomioon.

Matemaattisia ja tilastollisia menetelmiä on hyödynnetty rautatieliikennejärjestelmän täsmällisyyden tarkastelussa runsaasti. Tarkastelun kohteena on kuitenkin yleensä jokin osajärjestelmä, eikä tarkastelussa yleensä oteta huomioon järjestelmän ulkopuolisia tekijöitä. Teemaan liittyvää tutkimusta voisikin suunnata siten, että tarkastelun kohteeksi otetaan laajempia kokonaisuuksia ja lisätään mukaan esimerkiksi asiakas-tyytyväisyys- ja taloudellisuustarkasteluja. Erityisesti tilastollisten menetelmien avulla voisi tutkia laajempia syy-seuraussuhteita kuin tähän asti on tehty. Nykyisten tiedonlouhintamenetelmien avulla voidaan tarkastella hyvin kompleksisia järjestelmiä ja yhdistellä erilaisia tietolähteitä. Hyvä avaus tiedonlouhintamenetelmien käyttöön täsmällisyystiedon hyödyntämisessä on Petersin et al. (2005) tutkimus, jossa ennakoidaan tulevia viiveitä neuroverkkojen avulla.

### 6.3 Mallintaminen

Tässä luvussa tarkastellaan julkaisuja, joissa täsmällisyyden tutkimus perustuu siihen, että tarkasteltava järjestelmä on mallinnettu jollakin ei-triviaalilla tavalla. Tyypillinen mallintamisen kohde on jokin osajärjestelmä, kuten yksittäinen asema. Usein mallintamisessa on hyödynnetty matemaattisia tai tilastollisia menetelmiä, eli teema on osittain päällekkäinen edellisen luvun teeman kanssa. Lisäksi mallintaminen liittyy usein läheisesti myös simulointiin, joten päällekkäisyyttä on myös seuraavan luvun kanssa.

Kuten matemaattisten ja tilastollisten menetelmien kohdalla, myös tähän teemaan kuuluvia julkaisuja on runsaasti. Kuvassa 6.2 on tarkasteltu niitä 56 julkaisua, joiden ydintemana on mallintaminen.



Kuva 6.2 Ydinteman MALLINTAMINEN kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat.

Kuvasta 6.2 havaitaan jo aiemmin todettu triviaali yhteys mallintamisen ja matemaattisten ja tilastollisten menetelmien välillä. Myös muut korostuvat teemat ovat yhtäläisiä: viiveiden ketjuuntuminen, järjestelmän optimointi ja aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelu korostuvat. Tämä ei yllätä, sillä juuri näissä asioissa mallintamismenetelmien voi kuvitella olevan vahvimillaan.

Raportin liitteenä on luettelo mallintaminen-teemaa käsittelevistä julkaisuista. Mukana on 106 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus).



Luvussa 6.3.1 on esitelty melko laajasti muutama artikkeli, joissa täsmällisyys on tutkimuksissa keskeisessä asemassa. Luvussa 6.3.2 on lueteltu lyhyesti artikkeleita, jotka ovat mielenkiintoisia mallintamisen näkökulmasta, mutta joissa täsmällisyys jää sivurooliin. Luvussa 6.3.3 tehdään yhteenveto teeman keskeisistä havainnoista sekä pohditaan, miten mallintamista kannattaisi jatkossa hyödyntää aihepiirin tutkimuksessa.

### **6.3.1 Täsmällisyyden kannalta keskeisiä mallintamista käsitteleviä julkaisuja**

YUAN & HANSEN. JOURNAL ARTICLE 2007.

**OPTIMIZING CAPACITY UTILIZATION OF STATIONS BY ESTIMATING KNOCK-ON TRAIN DELAYS**

YUAN. CONFERENCE PROCEEDINGS 2007.

**DEALING WITH STOCHASTIC DEPENDENCE IN THE MODELING OF TRAIN DELAYS AND DELAY PROPAGATION**

HANSEN & YUAN. CONFERENCE PROCEEDINGS 2006.

**STOCHASTIC MODELING OF DELAY PROPAGATION AT RAILWAY STATIONS AND JUNCTIONS**

YUAN & GOVERDE & HANSEN. CONFERENCE PROCEEDINGS 2002.

**PROPAGATION OF TRAIN DELAYS IN STATIONS**

Yuan et al. Delftin teknillisestä yliopistosta esittelevät artikkeleissaan (Yuan & Hansen 2007, Yuan 2007, Hansen & Yuan 2006, Yuan et al. 2002) analyttisen stokastisen mallin, jolla voidaan tarkastella viiveiden ketjuuntumista asemilla ja risteyksissä. Kirjoittajat toteavat, että mallin avulla voidaan arvioida reittikonflikteista ja vaihtoyhteyksien odotuksesta johtuvia sekundaariviiveitä olemassa olevia malleja realistisemmin. Mallin avulla voidaan määrittää infrastruktuurin maksimikapasiteetti tietyllä täsmällisyydellä, parantaa aikataulusuunnittelua ja optimoida uudelleenaikataulusta.

Journal-artikkelissaan (Yuan & Hansen 2007) tekijät tarkastelevat olemassa olevia malleja viiveiden ketjuuntumisen tarkasteluun. Seuraavaksi käsitellään näitä malleja tarkemmin.

**Jonomallien** (Schwanhäußer 1974, 1994 ja Huisman et al. 2002) avulla arvioidaan junien (keskimääräistä) kokonaisodotusaikaa laituriraitteilla tai risteyksissä. Niitä hyödynnetään strategisessa suunnittelussa arvioitaessa, kuinka junien frekvenssin kasvattaminen tai infrastruktuurin ja junatyypin muokkaaminen vaikuttavat odotusaikaan. Junien nopeuden ja pituuden sekä opastinjärjestelmien turvallisuusrajoitteiden vaikutukset on sisällytetty malleihin arvioimalla jakaumat pienimmille mahdollisille vuoroväleille. Jonomallien avulla arvioidut odotusajat eivät välttämättä pidä paikkaansa, mikäli väliasemien saapumisajankohtien jakaumat ja pienimpien mahdollisten vuorovälien jakaumat eivät ole stokastisesti riippumattomia, kuten ne todellisuudessa tiheästi liikennöidyllä verkolla vakioaikatauluja käytettäessä ovat (Hansen 2004). Lisäksi jonomallit ovat aikatauluihin riippumattomia. Toisin sanoen ainoastaan junien frekvenssit määritellään, jolloin saapumis- ja lähtöaikojen sekä nopeusvaihteluiden vaikutukset jätetään huomioimatta. Näistä syistä johtuen jonomallien avulla ei voida kovinkaan luotettavasti ennakoita junaliikennöinnin täsmällisyyttä tietyllä rataverkolla ja aikataululla. (em. viittaukset julkaisussa Yuan & Hansen 2007)

**Muut analyttiset stokastiset mallit** keskittyvät joko yksittäiseen linkkiin tai verkkoon. Weigand (1981) olettaa, että sekä primääri viiveet (*entry delays*) että ketjuuntuneet viiveet (*additional delays*) ovat jakaantuneet eksponentiaalisesti. Mühlhans (1990) käyttää primääristen ja sekundääristen viiveiden jakaumiin numeerista konvoluutiota. Carey (1994) ennakoii junien saapumis- ja lähtemisaikojen jakaumia peräkkäisillä asemilla rekursiivisella substituuttimenetelmällä. Carey ja Kwieciński (1994) arvioivat yksittäisessä linkissä tapahtuvia, lyhyestä vuorovälistä aiheutuvia sekundäärisiä viiveitä epälineaarisen regression ja heurististen approksimaatioiden avulla. Higgins ja Kozan (1998) määrittävät odotusarvoja yksittäisten matkustajajunien viiveille kaupunkirataverkon eri rataosuuksilla. Nämä mallit eivät ota huomioon vaihteluita junien nopeuksissa ja lisäksi ne olettavat, että häiriön takia viivästyneet junat jatkavat matkaansa pienimmän mahdollisen turvavälin jälkeen. Tämä ei ole realistinen malli etenkin tilanteissa, joissa viivästyneet junat pysähtyvät suojastusopastimelle, joka näyttää punaista opastetta edessä olevan rataosuuden tai laituriraitteen ollessa varattu. Ei ole olemassa mallia, jonka avulla voitaisiin tarkasti arvioida junien viiveitä, jotka johtuvat reittikonflikteja seuraavista jarrutuksista ja kiihdytyksistä, joihin vaikuttavat sekä kuljettajien että liikenteenohjaajien reaktioajat. (em. viittaukset julkaisussa Yuan & Hansen 2007)

**Mikrotason simulointityökalujen**, kuten RailSysin (Radtke & Hauptmann 2004) ja OpenTrackin (Nash & Huerlimann 2004) avulla voidaan mallintaa junien viiveiden ketjuuntumista suurilla rautatieverkoilla, mutta ne vaativat laajamittaista työtä infrastruktuurin topologian, opastinjärjestelmän ja aikataulujen mallintamisessa. Lisäksi simulointityökaluissa ei ole mallinnettu kovinkaan tarkasti viiveiden ketjuuntumiseen vaikuttavien tekijöiden keskinäisiä suhteita, vaikka esimerkiksi kuljettajien ja liikenteenohjaajien eroavaisuuksista johtuen häiriöidenhallinta on aina dynaaminen prosessi. Näistä syistä johtuen olemassa olevat simulointityökalut eivät sovellu optimointiin – optimaalisen liikennöintitiheyden ja pelivaran määrittämiseen sekä näiden allokointiin – siten, että saavutetaan haluttu liikennöinnin luotettavuus-täsmällisyystaso. (em. viittaukset julkaisussa Yuan & Hansen 2007)

Omaa malliaan kirjoittajat perustelevat edellä mainittujen mallien puutteilla. Empiirisellä datalla tehdyn validoinnin perusteella tehdyt arviot ovat hyvin luotettavia. Mallin avulla aikataulujen vakautta voidaan tarkastella objektiivisesti, sillä se ennakoii luotettavasti viiveiden muodostumista annettujen primääri viiveiden perusteella. Kirjoittajat esittelevät malliaan useissa artikkeleissa, joista moni on esitelty myös tässä katsauksessa. Esimerkiksi tässä käsiteltyä neljää artikkelia on tarkasteltu laajasti myös luvussa 7.3 Viiveiden ketjuuntuminen. Kirjoittajien tutkimus vaikuttaa pitkäjänteiseltä ja laadukkaalta.

YUAN & GOVERDE & HANSEN. CONFERENCE PROCEEDINGS 2006.

#### EVALUATING STOCHASTIC TRAIN PROCESS TIME DISTRIBUTION MODELS ON THE BASIS OF EMPIRICAL DETECTION DATA

Yuan et al. (2006) tarkastelevat useita todennäköisyysjakaumamalleja, joita käytetään yleisesti erilaisille stokastisille junaprosesseille, ja jotka toimivat pohjana heidän edellä esitellylle stokastiselle kokonaismallilleen. Todennäköisyysmallien arviointi tehdään empiirisellä datalla, joka on saatu Den Haag HS -rautatieasemalta. Mallien parametrien määrittämisessä käytetään apuna muun muassa MLE (Maximum Likelihood Estimator) -työkalua.



Tutkimuksessa osoittautuu, että lognormaalinen jakauma luonnehtii parhaiten sekä lähestymisopastimille että laitureille saapuvia junia. Weibull-jakauma puolestaan kuvaa hyvin sekä ei-negatiivisia saapumis- ja lähtemisviiveitä että myöhässä saapuneiden junien pysähtymisaikaa. Kirjoittajien mukaan määriteltäviä jakaumamalleja voidaan hyödyntää ennakoidessa viiveiden ketjuuntumista ja siten aikataulusuunnittelun ja liikenteenohjauksen tukemisessa ennen kaikkea tilanteissa, joissa empiirinen data on puutteellista.

YUAN. DISSERTATION 2006.

**STOCHASTIC MODELLING OF TRAIN DELAYS AND DELAY PROPAGATION IN STATIONS**

Edellä esiteltyjen artikkeleiden teemat on koottu laajasti yhteen Yuanin väitöskirjassa (Yuan 2006), joka on esitelty laajemmin luvussa 7.3 Viiveiden ketjuuntuminen.

WEEDA & WIGGENRAAD. CONFERENCE PROCEEDINGS 2006.

**JOINT DESIGN STANDARD FOR RUNNING TIMES, DWELL TIMES AND HEADWAY TIMES**

Weeda ja Wiggenraad (2006) muodostavat liikennöintidatan avulla konseptuaalisen mallin vuorovälien ja viiveiden ketjuuntumisen välisestä yhteydestä. Tämäkin artikkeli on esitelty laajemmin luvussa 7.3 Viiveiden ketjuuntuminen.

HUISMAN & BOUCHERIE. JOURNAL ARTICLE 2001.

**RUNNING TIMES ON RAILWAY SECTIONS WITH HETEROGENEOUS TRAIN TRAFFIC**

HUISMAN & BOUCHERIE & VAN DIJK. JOURNAL ARTICLE 2002.

**A SOLVABLE QUEUEING NETWORK MODEL FOR RAILWAY NETWORKS AND ITS VALIDATION AND APPLICATIONS FOR THE NETHERLANDS**

Huisman ja Boucherie (2001) ovat tutkineet tilannetta, jossa samalla rataosuudella liikennöi erilaisia junatyyppejä. Eri junatyyppien erilaisista liikennöintinopeuksista johtuen voi käydä niin, että nopea juna saavuttaa hitaamman, jolloin se luonnollisesti viivästyy. Artikkelissa tarkastellaan tätä ilmiötä stokastisella mallilla, joka ottaa huomioon sekä aikataulutetut että aikatauluttamattomat junien liikkeet.

Ajoaikojen jakaumat kullekin junatyypille voidaan kirjoittajien mukaan määrittää eksplisiittisesti ratkaisemalla niihin liittyvä lineaaristen differentiaaliyhtälöiden joukko. Tämä kuitenkin edellyttää, että niiden häiriöttömät ajoajat ovat deterministisiä. Kirjoittajat toteavat luodun matemaattisen mallin kuuluvan jonomallien luokkaan, ja malli myös kehittää jonomallien hyödyntämistä paremmin peräkkäisten palveluiden mallintamiseen soveltuvaksi. Mallin soveltuvuus pragmaattiseen käyttöön – sekä lyhyen- että pitkän ajan suunnitteluun – osoitetaan tapaustutkimuksella, joka sijoittuu alankomaalaiselle rataosuudelle.

Kirjoittajakaksikko on mukana myös toisessa artikkelissa (Huisman et al. 2002), jossa kehitetyn jonomallin avulla pyritään mallintamaan suunnitteilla oleva rautatieverkosto siten, että sen suorituskykyä voidaan testata ennen varsinaista toteuttamista. Mallilla voidaan ilman varsinaisia aikatauluja tarkastella niin uusia verkko-layouteja, liikennöintiskenaarioita kuin kapasiteettilaajennuksiakin. Tuloksena tuotetaan junien keskimääräiset viiveet. Myös tässä artikkelissa mallin potentiaali osoitetaan tapaustutkimuksella, joka sijoittuu Alankomaihin.

LANDEX & NIELSEN. CONFERENCE PROCEEDINGS 2006.

**SIMULATION OF DISTURBANCES AND MODELLING OF EXPECTED TRAIN PASSENGER DELAYS**

Landex ja Nielsen (2006) toteavat, että rautatieliikennejärjestelmien täsmällisyysennusteet on perinteisesti tehty junille, ei matkustajille. Matkustajien kokemien viiveiden mallintaminen ja ennakointi on tullut mahdolliseksi vasta aivan viime aikoina. Tähän haasteeseen pyrkivät vastaamaan myös Landex ja Nielsen. He esittelevät mallin, joka keskittyy täsmällisyyteen matkustajan näkökulmasta (*passenger regularity*). Mallin avulla voidaan arvioida, paljonko erilaisissa tilanteissa syntyy matkustajaviivettä ottaen huomioon, että myöhästymisten sattuessa matkustajat voivat usein muuttaa suunnitelmiaan esimerkiksi reitinvalinnan osalta. Kun mallia käytetään yhdessä rautatieliikenteen simulaatioiden kanssa, voidaan ennustaa tulevia matkustajaviiveitä. Kööpenhaminan lähijunaliikenteeseen sovellettuna tällaisella yhdistelmällä on saatu yhdenmukaisia tuloksia laskelmien kanssa: mallin avulla edellisenä päivänä ennakoitujen matkustajaviiveiden pitäminen hyvin paikkaansa toteutumien kanssa.

Tarkastellun liikennejärjestelmän osan puolesta artikkeli olisi voitu esitellä myös luvussa 5.5 Matkustajaliikenne. Menetelmiensä puolesta artikkeli puolestaan sopii myös lukuun 6.4 Simulointi. Samat tekijät ovat olleet kirjoittajina myös seuraavassa aiheita käsittelevässä julkaisussa:

- Nielsen, Otto A. & Landex, Otto & Frederiksen, Rasmus D. 2009. Passenger delay models for rail networks. In book: Schedule-based modeling of transportation networks. Operations Research/Computer Science Interfaces Series, Vol. 46, p. 1–23. Springer US.

HIGGINS & KOZAN & FERREIRA. JOURNAL ARTICLE 1995.

**MODELLING DELAY RISKS ASSOCIATED WITH TRAIN SCHEDULES**

HIGGINS & KOZAN. JOURNAL ARTICLE 1998.

**MODELING TRAIN DELAYS IN URBAN NETWORKS**

Higginsin et al. (1995) mukaan aikataulun luotettavuudella viitataan siihen, kuinka todennäköisesti junat pysyvät aikataulussaan. Luotettavuutta voidaan siten mitata saapumistäsmällisyydellä, jonka todetaan olevan kriittinen suorituskyky mittari kaikilla rautatietoimijoilla. Niinpä kirjoittajat mallintavat yksittäisiin rataosuuksiin, juniin ja koko aikatauluun liittyvien viiveiden riskejä. Viiveiden syyt jaetaan kolmeen osaan; asemiin, rataan ja kalustoon. Malleja voidaan hyödyntää, kun priorisoidaan investointeja, jotka liittyvät näiden syiden poistamiseen. Näin esimerkiksi rata-, terminaali- ja kalustoprojekteja voidaan vertailla sen suhteen, kuinka ne tulevat vaikuttamaan aikataulun luotettavuuteen.

Myös aikataulumuutosten vaikutuksia voidaan mallintaa. Kehitettyjä riskimalleja hyödyntämällä voidaan kirjoittajien mukaan arvioida myös erilaisten infrastruktuuri-muutosten, kuten kohtaamisraiteiden lisäämisen tai poistamisen vaikutuksia. Mallien potentiaali osoitetaan erilaisin esimerkein.



Toisessa artikkelissaan Higgins ja Kozan (1998) toteavat, että matkustajajunien luotettavuus on kriittinen suorituskykytekijä sekä matkustajatytytyväsyyden että lopulta markkinaosuuden kannalta. Yhden junan myöhästymisen ruuhka-aikaan johtaa helposti viiveiden ketjuuntumiseen. Artikkelissa esitellään analyttispohjaisen mallin, jolla voidaan määrittää yksittäisen matkustajajunan tai linkin odotettavissa oleva viive. Malli osoittaa junille niin primääri- kuin sekundaariviiveetkin, sisältäen myös jatkoyhteydet. Mallin ratkaisemiseen tutkijat ovat käyttäneet iteratiivisia algoritmeja. Malli validoidaan vertaamalla sitä vastaaviin simulointituloksiin, kohteen ollessa todellinen liikenneverkko, jossa liikennöi 157 junaa. Lopuksi artikkelissa pohditaan, voisiko mallia hyödyntää myös arvioitaessa pelivaran lisäämisen tai erilaisten investointien vaikutuksia.

LINDFELDT. LICENTIATE THESIS 2007.

**QUALITY ON SINGLE-TRACK RAILWAY LINES WITH PASSENGER TRAFFIC: ANALYTICAL MODEL FOR EVALUATION OF CROSSING STATIONS AND PARTIAL DOUBLE-TRACKS**

Lindfeldt (2007) esittelee lisensiaatintyössään analyttisen mallin, jolla voidaan tarkastella risteysasemien ja kohtausraiteiden toimintaa Ruotsissa. Kirjoittajan mukaan ruotsalainen rautatieliikennejärjestelmä on pääasiassa yksiraiteinen, jolloin näiden solmujen merkitys aikataulujen luotettavuudelle on erittäin suuri. Esitellyn mallin, *SAMFOST:in*, avulla voidaan laskea, kuinka paljon solmuissa tapahtuvissa operaatioissa kuluu aikaa ja syntyy viiveitä. Malli kuitenkin yksinkertaistaa järjestelmää huomattavasti, eikä esimerkiksi huomioi ruuhkautumistilanteita. *RailSys*-simulointiohjelman avulla tehty validointi kuitenkin osoittaa, että malli antaa luotettavia tuloksia tilanteissa, joissa ruuhkautumista ei tapahdu. Malli myös osoittaa, että täsmällisyyden merkitys yksiraiteisessa järjestelmässä on koko järjestelmän toiminnan kannalta erittäin suuri. Lisäksi sillä voidaan tarkastella, miten aikataulun, rata-layoutin tai kaluston ominaisuuksien muuttaminen vaikuttaa liikennöintiin ja täsmällisyyteen. Mallin avulla tehdään erilaisia esimerkkitarkasteluja siitä, kuinka risteysasemien ja kohtaamisraiteiden lisääminen vaikuttaa matka-aikaan, luotettavuuteen ja täsmällisyyteen.

KAAS. CONFERENCE PROCEEDINGS 2000.

**PUNCTUALITY MODEL FOR RAILWAYS**

Kaas (2000) toteaa, että junien viiveitä liikennemallien yhteydessä on tutkittu vain vähän. Niinpä hän esittelee tutkimuksessaan Tanskaan suunnatun alueellisen liikennemallin, joka ottaa huomioon myös täsmällisyyden käsitteen. Viiveiden lisäksi malliin on sisällytetty myös liikennemäärät. Täsmällisyys voidaan tällöin kuvata mallissa simuloinnin avulla liikennemäärän funktiona. Kirjoittaja kuitenkin toteaa, että viiveitä on vaikea kuvata, sillä niitä aiheutuu hyvin erinäisistä syistä ja hyvin yllättäen. Tästä johtuen mallin rakentamisessa on käytetty hyväksi tanskalaista täsmällisyystietokantaa, johon tallentuvat lähes kaikki junien viiveet Tanskan rataverkolta. Tämän historiatiedon avulla viiveiden keskimääräisiä arvoja on voitu käyttää hyväksi.

CAREY. JOURNAL ARTICLE 1999.

#### **EX ANTE HEURISTIC MEASURES OF SCHEDULE RELIABILITY**

Carey (1999) tarkastelee tässä artikkelissaan eri tarkoituksiin suunniteltuja matemaattisia malleja. Niiden avulla voidaan esimerkiksi tarkastella yksittäisen junan myöhästymistä sekä sekundäärisiä viiveitä. Kirjoittaja kuitenkin toteaa, että rautatieliikenteen täsmällisyyttä on luonteensa takia haastavaa mallintaa matemaattisesti: normaalissa tilanteessa juna ei esimerkiksi voi lähteä liikkeelle ennen aikataulunmukaista lähtöaikaa, vaikka järjestelmä olisi valmis junan lähdölle.

Careyn mukaan matemaattisissa malleissa voidaan kuitenkin ottaa huomioon esimerkiksi erilaiset painotukset: täsmällisyydellä voi olla erilainen painoarvo riippuen palvelutasosta, kuten junan nopeudesta, pysäkkien määrästä tai vuorokaudenajasta, odotetusta matkustajamäärästä tai kustannuksista, kuten matkan hinnasta. Matemaattisten mallien avulla pystytään myös laskemaan liikenteen luotettavuutta eli sitä, mikä on todennäköisyys, että juna saapuu asemalle halutun aikavälin sisällä suunnitellusta, esimerkiksi korkeintaan 5 tai 10 minuuttia myöhässä. Ennustavat laskentamenetelmät käyttävät hyväkseen täsmällisyyden toteumatietoa, kuten maksimimyöhästymisiä ja keskimääräisiä myöhästymisiä.

Artikkelia on käsitelty laajasti luvussa 7.5 Myöhästymisten mittaaminen. Lisäksi Careyn muita artikkeleita on esitelty esimerkiksi luvussa 7.3 Viiveiden ketjuuntuminen.

VROMANS. DISSERTATION 2005.

#### **RELIABILITY OF RAILWAY SYSTEMS**

Vromans (2005) tarkastelee väitöskirjassaan rautatieliikenteen luotettavuutta useasta näkökulmasta. Väitöskirja esittelee erilaisia matemaattisia malleja, joilla aikataulujen luotettavuutta voidaan arvioida ja optimoida. Tässä tarkastelussa huomiota kiinnitetään erityisesti erilaisten puskuriaikojen allokointiin. Väitöskirjaa on tarkasteltu laajemmin luvussa 8.4 Luotettavuuden lisääminen.

BRIGGS. JOURNAL ARTICLE 2007.

#### **MODELLING TRAIN DELAYS WITH Q-EXPONENTIAL FUNCTIONS**

Briggs (2007) mallintaa viiveiden hajautumista Britannian rautatieverkolla q-eksponentiaalifunktioiden avulla. Artikkelin on esitelty tarkemmin luvussa 6.2 Matemaattiset ja tilastolliset menetelmät.

XUN & NING & LI. JOURNAL ARTICLE 2007.

#### **NETWORK-BASED TRAIN-FOLLOWING MODEL AND STUDY OF TRAIN'S DELAY PROPAGATION**

ZHOU & GAO & LI. JOURNAL ARTICLE 2006.

#### **CELLULAR AUTOMATON MODEL FOR MOVING-LIKE BLOCK SYSTEM AND STUDY OF TRAIN'S DELAY PROPAGATION**

Xun et al. (2007) ja Zhou et al. (2006) esittelevät mallin, jonka avulla voidaan simuloida viiveiden muodostumisen ilmiötä. Artikkelit on esitelty luvussa 7.3 Viiveiden ketjuuntuminen.



### 6.3.2 Mallintamista käsitteleviä muita julkaisuja

KOTTENHOFF. JOURNAL ARTICLE 1995.

#### THE VALUE AND EFFECTS OF INTRODUCING HIGH STANDARD TRAIN AND BUS CONCEPTS IN BLEKINGE, SWEDEN

Kottenhoff (1995) kuvaa mallinnusprosessia, jossa eri menetelmillä on mallinnettu uuden juna- ja bussitarjonnan vaikutuksia. Tutkimuksessa on vertailtu eri mallinnusmenetelmiä ja tuotettu ennusteita muun muassa kysynnästä, kulkumuotojakaumasta bussin ja junan välillä sekä näiden markkinaosuuksista. Artikkelin pääpaino on mallintamisessa, eikä se käsittele juurikaan täsmällisyyttä. Artikkelissa on kuitenkin useita mielenkiintoisia viitteitä, joista täsmällisyysteemaan liittyvät muun muassa seuraavat:

- Gärling, T. & Uhlin, S. & Widlert, S. 1989. Validation of stated preference methods for measuring passenger evaluation of public transport standards. TRUM, Umeå University, Report 1989. In Swedish.
- Lindh, C. 1992. Passengers' willingness to pay for improved punctuality, travel time and frequency. KTH, Meddelande no 79. In Swedish.
- Lindh C. & Widlert, S. 1989. Passengers' willingness to pay for quality. KTH, Meddelande no 71. In Swedish.

WENDLER & NIEBEN. JOURNAL ARTICLE 2008.

#### STOCHASTIC MODELS IN RAILWAY OPERATIONS RESEARCH

Wendler ja Nießen (2008) esittelevät, kuinka erilaisia stokastisia malleja tällä hetkellä hyödynnetään rautatieliikennejärjestelmään liittyvässä tutkimuksessa. He toteavat, että monet liikennejärjestelmän prosessit voidaan mallintaa stokastisten mallien avulla. Malleja voidaan soveltaa käytäntöön esimerkiksi aikataulujen häiriösietoisuuden tarkastelussa.

LEE. CONFERENCE PROCEEDINGS 1998.

#### DELAY ANALYSIS FOR TRAIN OPERATION

Lee (1998) on tutkinut viiveiden säännönmukaisuuksia simulointimallin avulla hyödyntäen Taiwanin rautatiejärjestelmän dataa. Simuloinnin pohjana toimii aikataulutettuja junia tarkasteleva stokastinen malli. Siinä kahden aseman väliset ajoajat ja asemien pysähtymisajat määritellään stokastisilla jakaumilla, jotka kalibroidaan todellisen datan avulla. Mallin ensisijaiseksi tulokseksi todetaan se, että se havainnollistaa viiveiden muodostumista rataverkolla.

TSENG & RIETVELD & VERHOEF. REPORT 2004.

#### A META-ANALYSIS OF VALUATION OF TRAVEL TIME RELIABILITY

Tseng et al. (2004) ovat tutkineet kuinka matkustajat arvostavat matka-aikaan liittyvää luotettavuutta. Tarkastelun kohteena on matkustajiin liittyvä päätöksentekomalli ja se, kuinka erilaiset attribuutit vaikuttavat malliin.

JOHNSON & NELSON. JOURNAL ARTICLE 1991.

**MARKET RESPONSE TO CHANGES IN ATTRIBUTES OF A LONG-DISTANCE PASSENGER RAIL SERVICE**

Johnson ja Nelson (1991) arvioivat mallia, jolla voidaan tarkastella, kuinka australialaisen kaukoliikennereitin palveluattribuuttien muuttaminen vaikuttaa reitin markkinaosuuteen. Luotettavuuden merkitys osoittautuu tutkimuksessa suureksi.

EVANS & MORRISON. JOURNAL ARTICLE 1997.

**INCORPORATING ACCIDENT RISK AND DISRUPTION IN ECONOMIC MODELS OF PUBLIC TRANSPORT**

Evans ja Morrison (1997) tarkastelevat malleja, joilla voidaan analysoida erilaisten riskien ja yllättävien häiriöiden taloudellisia vaikutuksia. Taloudellisten vaikutusten perusteena on matkustajille aiheutunut haitta. Artikkelissa esitellään myös tuloksia kokeilusta, jossa mallia on sovellettu hypoteettiseen rautatiejärjestelmään.

ZIO & MARELLA & PODOFILLINI. JOURNAL ARTICLE 2007.

**IMPORTANCE MEASURES-BASED PRIORITIZATION FOR IMPROVING THE PERFORMANCE OF MULTI-STATE SYSTEMS: APPLICATION TO THE RAILWAY INDUSTRY**

Zio et al. (2007) mallintavat rautatiejärjestelmän monitilaisena siten, että kukin rataosuus esitetään komponenttina, jolla on omat attribuutinsa. Mallia voidaan käyttää priorisoinnissa pyrittäessä minimoimaan kokonaisviivettä.

LIU & HE & WANG & AN. JOURNAL ARTICLE 2007.

**STOCHASTIC CHANCE CONSTRAINED PROGRAMMING MODEL AND SOLUTION OF MARSHALLING STATION DISPATCHING PLAN**

Liu et al. (2007) esittelevät stokastisen mallin, jolla voidaan optimoida järjestelyratapihan liikenteenohjausta. Malli vähentää vaunujen seisonta-aikaa sekä junien lähtöviiveitä.

GREENBERG & LEACHMAN & WOLFF. JOURNAL ARTICLE 1988.

**PREDICTING DISPATCHING DELAYS ON A LOW SPEED, SINGLE TRACK RAILROAD**

Greenberg et al. (1988) esittelevät artikkelissaan jonomalleja, joilla voidaan ennakoida viiveitä yksiraiteisissa järjestelmissä, joissa nopeudet ovat alhaisia ja kohtaamisraiteet pitkiä. Artikkelin on melko vanha ja sen esittelemä malli alkeellinen: esimerkiksi epä-täsmällisyyttä mallinnetaan Poissonin jakauman avulla.

TURNQUIST & DASKIN. JOURNAL ARTICLE 1982.

**QUEUEING MODELS OF CLASSIFICATION AND CONNECTION DELAY IN RAILYARDS**

Turnquist ja Daskin (1982) esittelevät jonomalleja, joilla voidaan tarkastella ratapihoilla syntyviä viiveitä ja siten kehittää liikenteenohjausta. Myös tämä artikkeli on melko vanha.



DE SCHUTTER & VAN DEN BOOM & HEGYI. JOURNAL ARTICLE 2002.

**MODEL PREDICTIVE CONTROL APPROACH FOR RECOVERY FROM DELAYS IN RAILWAY SYSTEMS**

De Shutter et al. (2002) esittelevät *model predictive control* -kehiksen (MPC), jolla hallitaan rautatieverkon viivästymisistä elpymistä.

D'ARIANO. DISSERTATION 2008.

**IMPROVING REAL-TIME TRAIN DISPATCHING: MODELS, ALGORITHMS AND APPLICATIONS**

D'Ariano (2008) käsittelee väitöskirjassaan reaaliaikaista liikenteenohjausta häiriötilanteissa viiveiden vähentämiseksi ja esittelee tähän liittyviä malleja, algoritmeja ja sovelluksia. Väitöskirjaa ja D'Arianon muita tutkimuksia on analysoitu laajemmin luvussa 9.5 Reaaliaikaiset järjestelmät.

HE & SONG & CHAUDHRY. JOURNAL ARTICLE 2003.

**AN INTEGRATED DISPATCHING MODEL FOR RAIL YARDS OPERATIONS**

He et al. (2003) ovat kehittäneet mallin, jonka tarkoituksena on auttaa ratapihan liikenteenohjauspäätöksissä. Artikkelia on käsitelty tarkemmin luvussa 5.6 Tavaraliikenne.

HIGGINS & KOZAN & FERREIRA. JOURNAL ARTICLE. 1997.

**MODELLING THE NUMBER AND LOCATION OF SIDINGS ON A SINGLE LINE RAILWAY**

Jo aiemmin tässä luvussa esillä olleet Higgins et al. (1997) tarkastelevat tässä artikkelissa mallia, jonka avulla voidaan määritellä yksiraiteisella verkolla tarvittavien sivuraiteiden määrä liikenteen kysynnän ollessa vakio. Artikkelia on tarkasteltu laajemmin luvussa 5.2 Infrastruktuuri.

BHAT & SARDESAI. JOURNAL ARTICLE. 2006.

**THE IMPACT OF STOP-MAKING AND TRAVEL TIME RELIABILITY ON COMMUTE MODE CHOICE**

Bhat ja Sardesai (2006) tarkastelevat työmatkaliikenteen kulkutavan valintamallin avulla, kuinka matka-ajan luotettavuus vaikuttaa valittavaan kulkuneuvoon. Artikkelia on käsitelty laajemmin luvussa 8.4 Luotettavuuden lisääminen.

LIU & GAO. CONFERENCE PROCEEDINGS 2007.

**STUDY ON RAILWAY TRANSPORT SERVICE QUALITY EVALUATION**

Liu ja Gao (2007) muodostavat asiakastytyväisyyttä ja palvelun laatua kuvaavan mallin, joka koostuu SERVQUAL-laadunarviointimallista ja kyselytutkimuksella kootuista Kiinan rautatieliikennettä kuvaavista ominaisuuksista. Artikkelia on käsitelty tarkemmin luvussa 8.3 Palvelun laadun parantaminen.

### 6.3.3 Yhteenveto ja johtopäätökset

Kirjallisuuskatsaukseen sisältyy huomattava määrä artikkeleita, joissa rautatieliikennejärjestelmää on mallinnettu erilaisin matemaattisin menetelmin. Näiden artikkeleiden

osalta voidaan todeta samaa kuin edellisen luvun johtopäätöksissä: rautatieliikennejärjestelmä ja sen osajärjestelmät ovat erinomaisia kohteita matemaattiselle mallintamiselle – järjestelmä on hedelmällinen yhdistelmä erilaisia reunaehtoja ja niiden puitteissa optimoitavia asioita. Matemaattisen mallintamisen osalta esille nousivat erityisesti Delftin teknillisen yliopiston tutkijat, Yuan etupäässä. He ovat tehneet pitkäjänteistä tutkimusta esimerkiksi erilaisten liikennesolmuissa tapahtuvien stokastisten ilmiöiden tarkastelussa.

Matemaattisella mallintamisella on kuitenkin ongelmansa. Matemaattisin menetelmin ei pääsääntöisesti voida ratkaista kovinkaan kompleksisia ongelmia. Näin ollen tarkastelun kohteena on yleensä jokin osajärjestelmä tai vaihtoehtoisesti ongelmaa on yksinkertaistettu huomattavasti. Tämä puolestaan johtaa siihen, etteivät tulokset välttämättä ole sellaisenaan hyödynnettävissä koko järjestelmää tarkasteltaessa. Joissakin tutkimuksissa matemaattisia malleja on kuitenkin käytetty yhdessä muiden menetelmien kanssa, jolloin on voitu käsitellä laajempia asiayhteyksiä. Lisäksi simulointiohjelmistot hyödynnevät monissa tapauksissa matemaattisia malleja.

Useimmissa matemaattisissa malleissa tarkasteltiin puhtaasti liikennejärjestelmän täsmällisyyttä ja siten esimerkiksi juniin liittyviä viiveitä tai aikataulujen luotettavuutta. Muutamassa tutkimuksessa näkökulma oli kuitenkin matkustajien kokemassa täsmällisyydessä. Tällä saralla tutkimusta tarvitaan kuitenkin vielä lisää – matkustajien täsmällisyys on huomattavasti monisyisempi asia, ja huomioon otettavia asioita on paljon enemmän. Viiden minuutin myöhästymisen on vähän kuormitetun kaukojunan tapauksessa huomattavasti pienempi haitta kuin ruuhkaisen työmatkajunan vastaava viive.

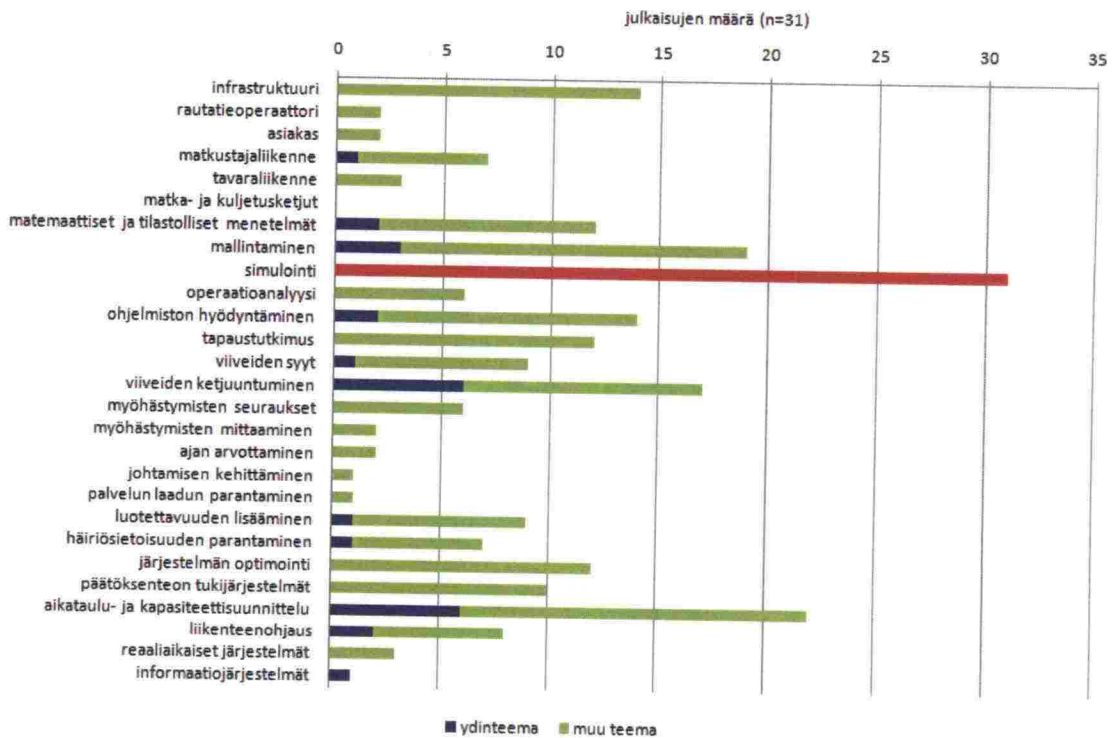
Puhtaiden matemaattisen mallien lisäksi esille nousi myös jonkin verran muitakin malleja. Mallintamisen kohteena olivat esimerkiksi matkustajien käyttäytyminen erilaisissa tilanteissa sekä jonkin verran myös täsmällisyyden taloudellisten vaikutukset. Tämänkaltaisia tutkimuksia on kuitenkin selvästi vähemmän, eikä niistä noussut esille yhtään erityisen pitkäjänteiseltä vaikuttavaa tutkimusta. Lisäksi näissä julkaisuissa täsmällisyys oli usein vain sivuosassa. Niinpä jatkotutkimussuosituksena voisi todeta, että täsmällisyyteen liittyvää asiakkaiden käyttäytymistä ja tyytyväisyyttä voisi mallintaa nykyistä syvällisemmin ja systemaattisemmin. Lisäksi voisi luoda erilaisia ekonometrisiä malleja siitä, miten täsmällisyys vaikuttaa järjestelmän tuottoihin ja kustannuksiin.

## 6.4 Simulointi

Tässä luvussa esitellään artikkeleita, joissa rautatiejärjestelmän osan täsmällisyyttä on tutkittu tietokonesimuloinnin keinoin. Laskentatehon lisääntyttyä tietokonesimulointi on noussut tehokkaaksi tavaksi tutkia kompleksista rautatieliikennejärjestelmää. Esimerkiksi monimutkaisten viiveiden ketjuuntumisen tarkastelu on mahdotonta matemaattisin menetelmin, kun taas simuloimalla ilmiötä pystytään tutkimaan. Simuloinnin pohjaksi tulee aina laatia simulointimalli. Näin ollen edellisessä luvussa 6.3 Mallintaminen käsiteltiin jo monia tutkimuksia, jotka olisivat sopineet myös tähän lukuun. Toisaalta simulointimallien pohjalla puolestaan on aina erilaisia matemaattisia algoritmeja, joten päällekkäisyyttä on myös luvun 6.2 Matemaattiset ja tilastolliset menetelmät kanssa.



Teemaan kuuluvia julkaisuja nousi esille melko runsaasti. Kuvassa 6.3 on tarkasteltu niitä 31 julkaisua, joissa simulointi on ydinteemana.



Kuva 6.3 Ydinteeman SIMULOINTI kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat.

Kuvasta 6.3 havaitaan jo todettu yhteys matemaattisten ja tilastollisten menetelmien, mallintamisen ja simuloinnin välillä. Tämän lisäksi simuloinnin yhteydessä korostuu erityisesti infrastruktuuri, ohjelmiston hyödyntäminen, viiveiden ketjuuntuminen sekä aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelu. Kahteen viimeiseen selitys on sama kuin matemaattisten ja tilastollisten menetelmien ja mallintamisen kohdalla. Myös ohjelmiston hyödyntämisen esiintyminen on luonnollista: simulointi on hyvin ohjelmistoon sidottua. Mielenkiintoisimmaksi kytkökseksi jää infrastruktuuri: on ilmeistä, että simuloinnin keinoin on ratkaistu paljon infrastruktuuriin liittyviä asioita, kuten erilaisten rata-layoutien vaikutuksia järjestelmän täsmällisyydelle.

Raportin liitteenä on luettelo simulointi-teemaa käsittelevistä julkaisuista. Mukana on 54 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus).

Luvussa 6.4.1 on esitelty ne teeman tutkimukset, jotka ovat täsmällisyyden kannalta merkityksellisempiä. Luvussa 6.4.2 on puolestaan tarkasteltu joitakin julkaisuja, joissa simulointimenetelmien hyödyntäminen korostuu, mutta täsmällisyys jää vähäisempään rooliin. Luvussa 6.4.3 esitetään yhteenvedo ja johtopäätökset.

#### 6.4.1 Täsmällisyyden kannalta keskeisiä simulointia käsitteleviä julkaisuja

JIANG & XU & XIE. CONFERENCE PROCEEDINGS 2007.

##### **TRAIN DELAY PROPAGATION SIMULATION IN RAIL TRANSIT SYSTEM**

XU & JIANG & SHAO & ZHU. JOURNAL ARTICLE 2006.

##### **SIMULATION STUDY ON TRAIN DELAY AND PROPAGATION CHARACTERISTICS OF URBAN MASS TRANSIT SYSTEMS**

Jiang et al. (2007) ja Xu et al. (2006) tarkastelevat artikkeleissaan viiveiden muodostumista simulointimenetelmin. Kohteena on kevytraidejärjestelmä UMT Shanghaissa.

Kirjoittajien mukaan järjestelmän toimintavarmuus on kriittinen suorituskykytekijä matkustajien tyytyväisyyden kannalta ja siten vaikuttaa koko liikennemuodon kilpailukykyyn. UMT-järjestelmälle on tyypillistä lyhyet vuorovälit, tiheästi sijaitsevat asemat ja yksinkertaiset rata-layoutit. Näin ollen mikä tahansa primääri viive johtaa nopeasti laajoihin sekundäärisiin viiveisiin.

Vanhemmassa artikkelissa (Xu et al. 2006) tarkastellaan yleisesti viiveiden muodostumisen luonnetta. Tämän pohjalta esitellään simulointimalli, jolla viiveiden muodostumista voidaan tutkia. Mallin avulla selvitetään, että viiveiden muodostumiseen vaikuttaa voimakkaasti kapasiteetin käyttöaste, pelivara sekä ylimääräisen kaluston ja sivuraiteiden määrä. Näin ollen artikkelissa suositellaan, että nämä parametrit tulisi suunnitella yhtenä kokonaisuutena.

Tuoreemmassa julkaisussa (Jiang et al. 2007) simulointisovelluksen avulla tarkastellaan tarkemmin, kuinka tarjonnan määrän, pelivaran ja varakaluston määrän muutokset vaikuttavat täsmällisyyteen ja luotettavuuteen. Tuloksia validoidaan case-kohteen avulla. Kirjoittajien mukaan tuloksia voidaan hyödyntää, kun vertaillaan erilaisia aika-tilavaihtoehtoja ennen niiden käyttöönottoa ja kun kehitetään täsmällisyyden johtamista.

LINDFELDT. CONFERENCE PROCEEDINGS 2008.

##### **EVALUATION OF PUNCTUALITY ON A HEAVILY UTILISED RAILWAY LINE WITH MIXED TRAFFIC**

Lindfeldt (2008) tutkii simuloinnin avulla ruotsalaisen, vilkkaasti liikennöidyn seka-liikenneraosaosuuden ruuhkaantumisen primäärisyyttä. Läntinen pääväylä (Västra stambanan) on 450 kilometriä pitkä ja sillä liikennöivät niin nopeat kaukojunat, erilaiset paikallisjunat kuin tavarajunatkin. Liikenne ruuhkautuu helposti, mikä vaikuttaa selvästi yleiseen täsmällisyyteen.

Paikallisen operaattorin (SJ AB) tilauksesta KTH selvitti primääri viiveiden vähentämisen vaikutuksia koko järjestelmän täsmällisyyteen laajan, RailSys-ohjelmistolla tehdyn simulointitutkimuksen avulla. Tutkimuksessa simulointimalliin sisällytettiin kaikkien reitillä liikennöivien junien liikennöintidata. Malli huomioi primääri viiveiden stokastisen luonteen, ja viiveiden jakaumien todistetaan noudattavat hyvin todellisuutta.

Tutkimus osoittaa, että primäärisyyden joukko on hyvin monimuotoinen. Jatko-tutkimusta kuitenkin tarvitaan, sillä tutkijat suosittelivat mallin validointia sekä



viiveiden stokastisuuden tarkempaa mallintamista. Lopulliseen tavoitteeseen, viiveiden vähentämisen mahdollisiin myönteisiin seurauksiin, ei vielä päästä.

CAREY & CARVILLE. JOURNAL ARTICLE 2000.

**TESTING SCHEDULE PERFORMANCE AND RELIABILITY FOR TRAIN STATIONS**

Carey ja Carville (2000) käsittelevät asema-aikataulujen suorituskyvyn ja luotettavuuden testausta. Tätä varten he esittelevät simulointimallin, jolla voidaan ennakoida todennäköisyysjakaumineen asemilla tapahtuvia viiveiden ketjuuntumisia, jotka saavat alkunsa tyypillisistä päivittäisistä primääri viiveistä (*exogenous delays*).

Menetelmän avulla voidaan testata ja vertailla erilaisten aikatauluehdotusten ja -muutosten luotettavuutta ennen niiden käyttöönottoa. Sen avulla voidaan myös tarkastella, mitä erilaiset muutokset liikennöintipolitiikkaan tai infrastruktuuriin vaikuttavat aikataulun luotettavuuteen. Mallin avulla voidaan myös osoittaa, kuinka muutokset primääri viiveiden esiintyvyydessä vaikuttavat täsmällisyyteen ja luotettavuuteen. Artikkelia on käsitelty laajasti luvussa 7.3 Viiveiden ketjuuntuminen.

DEMITZ & HÜBSCHEN & ALBRECHT. CONFERENCE PROCEEDINGS 2004.

**TIMETABLE STABILITY - USING SIMULATION TO ENSURE QUALITY IN A REGULAR INTERVAL TIMETABLE 2004**

Demitz et al. (2004) kuvaavat, kuinka simuloinnin avulla voidaan varmistua tietyn vakioaikataulun ja siihen liittyvien vaihtoyhteyksien muodostaman kokonaisuuden täsmällisyydestä. Julkaisua on käsitelty myös luvussa 9.3 Aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelu.

MAO & YANG & WANG. CONFERENCE PROCEEDINGS 1998.

**STATISTICAL AND SIMULATION-BASED MODELS FOR PROGRESSION PREDICTION OF TRAIN DELAYS ON BUSY RAILWAY LINES**

Mao et al. (1998) esittelevät kaksi mallia, joilla junien viiveitä voidaan ennakoida ja sitä kautta vähentää. Ensimmäinen malli perustuu tilastolliseen analyysiin, jälkimmäinen simulointiin. Julkaisua on käsitelty tarkemmin luvussa 7.3 Viiveiden ketjuuntuminen.

XUN & NING & LI. JOURNAL ARTICLE 2007.

**NETWORK-BASED TRAIN-FOLLOWING MODEL AND STUDY OF TRAIN'S DELAY PROPAGATION**

ZHOU & GAO & LI. JOURNAL ARTICLE 2006.

**CELLULAR AUTOMATON MODEL FOR MOVING-LIKE BLOCK SYSTEM AND STUDY OF TRAIN'S DELAY PROPAGATION**

Xun et al. (2007) ja Zhou et al. (2006) esittelevät mallin, jonka avulla voidaan simuloida viiveiden muodostumisilmiötä. Artikkelit on esitelty laajemmin luvussa 7.3 Viiveiden ketjuuntuminen.

FUKAMI & YAMAMOTO & HATANAKA & TERADA. CONFERENCE PROCEEDINGS 2008.  
**A NEW DELAY FORECASTING SYSTEM FOR THE PASSENGER INFORMATION CONTROL SYSTEM (PIC) OF THE TOKAIDO-SANYO SHINKANSEN**

Fukami et al. (2006) esittelevät järjestelmän, joka simuloi junien todellisia liikkeitä asemien välillä ja tarjoaa siten matkustajille tarkkaa tietoa niiden täsmällisyydestä. Artikkelia on tarkasteltu enemmän luvussa 9.6 Informaatiojärjestelmät.

LANDEX & NIELSEN. CONFERENCE PROCEEDINGS 2006.  
**SIMULATION OF DISTURBANCES AND MODELLING OF EXPECTED TRAIN PASSENGER DELAYS**

Landex ja Nielsen (2006) esittelevät mallin, joka keskittyy täsmällisyyteen matkustajan näkökulmasta. Kun mallia käytetään yhdessä rautatieliikenteen simulaatioiden kanssa, voidaan ennustaa tulevia matkustajaviiveitä. Artikkelia esitellään laajemmin luvussa 6.3 Mallintaminen.

TAKAGI & WESTON & GOODMAN & BOUCH & ARMSTRONG & PRESTON & SONE.  
 CONFERENCE PROCEEDINGS 2006.  
**OPTIMAL TRAIN CONTROL AT A JUNCTION IN THE MAIN LINE RAIL NETWORK USING A NEW OBJECT-ORIENTED SIGNALLING SYSTEM MODEL**

Takagi et al. (2006) ovat kehittäneet liikenteenohjauksen tueksi algoritmin, joka minimoi painotetut kokonaisviiveet ruuhkaisella päälinjalla. Tämä algoritmi voidaan yhdistää simulointiohjelmistoon, jolloin suurien järjestelmien tarkastelu on mahdollista. Artikkelia on esitelty kattavammin luvussa 6.2 Matemaattiset ja tilastolliset menetelmät.

#### **6.4.2 Simulointia käsitteleviä muita julkaisuja**

MAO & JIA & CHEN & LIU. CONFERENCE PROCEEDINGS 2007.  
**A COMPUTER-AIDED MULTI-TRAIN SIMULATOR FOR RAIL TRAFFIC**

Mao et al. (2007) esittelevät simulointiohjelmiston, jolla voidaan tarkastella esimerkiksi vuorovälien vaikutuksia viiveisiin. Mallipohjaisesti toteutettu ohjelmisto tarjoaa kolme tärkeää toiminnallisuutta: yksittäisen junan simulointi, useiden junien simulointi sekä aikataulujen arviointi. Ensin julkaisussa esitellään ohjelmiston arkkitehtuuri sekä sen pohjalla olevat mallit. Tämän jälkeen simuloidaan kahden kaukojunan liikennöintiä. Tulokset osoittavat, että simuloinnin keinoin voidaan tehokkaasti analysoida, kuinka herkkä järjestelmä on viiveille.

BANDARA & EKANAYAKE. JOURNAL ARTICLE 2003.  
**TRAIN SCHEDULING SIMULATION THAT MINIMISES OPERATIONAL CONFLICTS DUE TO SERVICE CONSTRAINTS**

Bandara ja Ekanayake (2003) esittelevät tutkimusta, jossa yritetään helpottaa aikataulutusta häiriötilanteissa siten, että viiveet minimoituvat. Artikkelissa kuvataan yksiraiteisella radalla kulkevien junien aikataulujen optimointiin suunniteltu simulointimalli. Malli mahdollistaa aikataulujen suunnittelun ja optimoinnin niin, että junat voivat kulkea lyhyillä aikaväleillä sekä yksi- että kaksiraiteisella verkolla. Artikkelissa esitellään myös erilaisia vaihtoehtoja esittäen simuloinnin tulos sekä artikkelin lopuksi



tapaustutkimus yksiraiteiselta rataosuudelta. Artikkelin on esitelty myös luvussa 9.3 Aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelu.

VROMANS & DEKKER & KROON. CONFERENCE PROCEEDINGS 2004.

#### **SIMULATION AND RAILWAY TIMETABLING NORMS**

Vromans ja Dekker (2004) tarkastelevat simuloinnin keinoin, kuinka junien väliset nopeuserot vaikuttavat täsmällisyyteen. Työkaluna käytetään SIMONE-simulointiohjelmistoa, jolla voidaan simuloida valtion laajuista järjestelmää. Kirjoittajien mukaan SIMONE-ohjelmistoa käytetään sekä pragmaattisiin tarkoituksiin, kuten kahden aikatauluvaihtoehdon vertailuun, sekä tieteelliseen tutkimukseen. Artikkelin on esitelty hiukan laajemmin luvussa 6.6 Ohjelmiston hyödyntäminen.

HOOGHIEMSTRA & TEUNISSE. CONFERENCE PROCEEDINGS 1998.

#### **USE OF SIMULATION IN THE PLANNING OF THE DUTCH RAILWAY SERVICES**

Hooghiemstra ja Teunisse (1998) esittelevät toimivan prototyypin simulointityökalusta, jolla voidaan arvioida tuotettujen aikataulujen häiriösietoisuutta. Työkalu on mitä ilmeisimmin edellä mainitun SIMONE-ohjelmiston varhainen versio. Artikkelin on esitelty hieman laajemmin luvussa 6.6 Ohjelmiston hyödyntäminen.

### **6.4.3 Yhteenveto ja johtopäätökset**

Simulointimenetelmiä hyödynnetään pääasiassa kahteen tarkoitukseen: aikataulu- ja kapasiteettisuunnitteluun sekä liikenteenohjaukseen. Aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelussa simuloinnin keinoin pyritään esimerkiksi määrittämään aikataulujen häiriöherkkyyttä sekä erilaisten parametrien, kuten vuorovälien ja pelivaran vaikutusta järjestelmän toiminnalle. Myös erilaisten infrastruktuurikonfiguraatioiden vaikutusta simuloidaan paljon. Useimmat simulointimallit huomioivat stokastisuuden, mikä parantaa niiden realistisuutta. Näiden ohjelmistojen avulla erilaisia skenaarioita voidaan analysoida ja vertailla ennen kuin ne otetaan käyttöön. Optimaalisessa tilanteessa simulointimenetelmien hyödyntäminen johtaa kapasiteetin tehokkaampaan käyttöön ja järjestelmän suurempaan täsmällisyyteen. Mitä kompleksisempi järjestelmä on kyseessä, sitä enemmän simuloinnista on apua.

Liikenteenohjauksen tukena simulointia käytetään pääasiassa tilanteissa, joissa pyritään toipumaan häiriötilanteista siten, että niiden negatiiviset vaikutukset minimoituvat. Simulointimenetelmien avulla voidaan analysoida erilaisia vaihtoehtoisia ratkaisumalleja ja valita niistä paras. Tämän lisäksi simulointimenetelmin voidaan ennakoida tapahtumien kulkua erilaissa tilanteissa ja näin tarjota matkustajille täsmällisyyteen liittyvää tietoa.

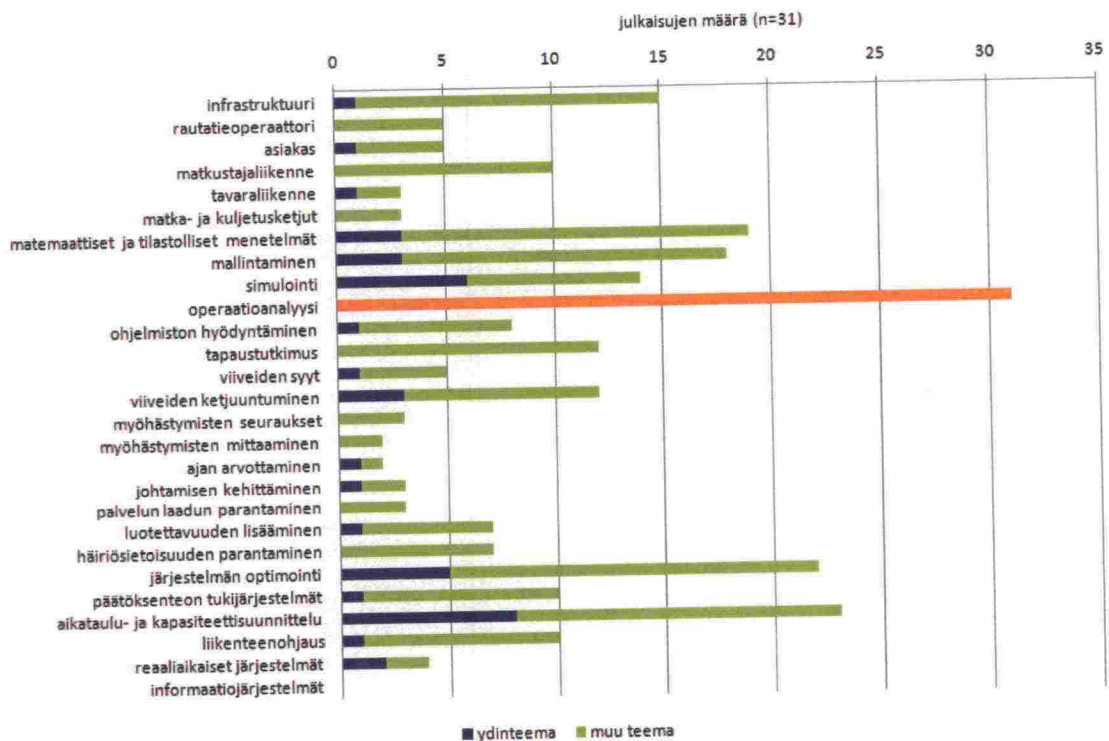
Simulointimenetelmien käyttöä edellä mainituissa yhteyksissä on tutkittu melko paljon. Kuten edellisissä luvuissa todettiin, on rautatieliikennejärjestelmä erinomainen kohde mallinnus- ja simulointimenetelmien hyödyntämiselle. On kuitenkin huomattava, että simulointimallien luominen varsinkin kompleksista järjestelmästä on erittäin työlästä ja yksinkertaistuksia on pakko tehdä. Näin ollen monissa tutkimuksissa onkin keskitytty tarkastelemaan jotakin yksinkertaistettua osajärjestelmää, mikä johtaa helposti osaoptimointiin. On siis mietittävä tarkoin, milloin simulointimenetelmiä kannattaa hyödyntää.

Tässä luvussa esiteltyjen artikkeleiden lisäksi katsauksessa oli mukana kymmenkunta artikkelia, joissa simulointi korostui, mutta jotka vain sivusivat täsmällisyyttä. Suurin osa niistä liittyi jollakin tapaa kapasiteettisuunnitteluun.

## 6.5 Operaatioanalyysi

Operaatioanalyysi on monitieteinen menetelmä, jolla pyritään löytämään kompleksiselle ongelmalle optimaalinen tai lähes optimaalinen ratkaisu. Tyypillinen optimointitehtävä on erilaisten maksimi- ja minimiarvojen etsintä. Rautatieliikennejärjestelmään liittyvässä tutkimuksessa voidaan esimerkiksi pyrkiä kapasiteetin käytön optimointiin. Operaatioanalyysissä hyödynnetään erilaisia matemaattisia algoritmeja ja menetelmiä, tilastotiedettä tai vaikka simulointia. Niinpä moni tähän teemaan sopivista artikkeleista on jo käsitelty edellisissä luvuissa.

Varsinaisia operaatioanalyysimenetelmiä hyödyntäviä artikkeleita löytyi yllättävän vähän: ydintemaksi se nousi vain kuudessa artikkelissa. Kuvassa 6.4 onkin esitetty kaikki teemaa käsittelevät 31 julkaisua.



Kuva 6.4 Teeman OPERATIOANALYYSI kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat.

Kuvasta 6.4 voidaan päätellä seuraavaa: operaatioanalyysimenetelmiä hyödyntävät tutkimukset tarkastelevat usein infrastruktuuria ja pyrkivät järjestelmän optimointiin. Lisäksi päämääränä on usein aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelu.

Raportin liitteenä on luettelo operaatioanalyysi-teemaa käsittelevistä julkaisuista. Mukana on 16 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus). Seuraavassa on esitelty muutama teemaan parhaiten sopiva julkaisu.



### 6.5.1 Operaatioanalyysiä käsitteleviä julkaisuja

HANSEN. CONFERENCE PROCEEDINGS 2006.

#### STATE-OF-THE-ART OF RAILWAY OPERATIONS RESEARCH

Hansen (2006) hyödyntää artikkelissaan operaatioanalyysin menetelmiä. Hän esittelee mallin, jonka avulla voidaan sekä optimoida aikatauluja että arvioida syntyviä viiveitä stokastisesti eli todennäköisyysmalleihin perustuen – vastakohtana sille determinismille, joka rautatieliikenteen aikataulutuksessa on yleisesti vallinnut. Tätä julkaisua on käsitelty myös luvussa 9.3 Aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelu.

Hansen viittaa muun muassa seuraaviin julkaisuihin:

- Kaminsky, R. 2001. Pufferzeiten in Netzen des spurgeführten Verkehrs in Abhängigkeit von Zugfolge und Infrastruktur. PhD thesis. Wissenschaftliche Arbeiten Institut für Verkehrswesen, Eisenbahnbau und -betrieb Universität Hannover, Heft 56. Hestra: Darmstadt.
- Wendler, E. 1999. Analytische Berechnung der Planmäßigen Wartezeiten bei asynchroner Fahrplankonstruktion. PhD thesis. Veröffentlichung des Verkehrswissenschaftlichen Institutes der RWTH Aachen, Heft 55.

DELORME & GANDIBLEUX & RODRIGUEZ. JOURNAL ARTICLE 2009.

#### STABILITY EVALUATION OF A RAILWAY TIMETABLE AT STATION LEVEL

Delorme et al. (2009) kuvaavat tutkimusta, jossa pyritään muodostamaan malli aikataulun optimoinnille ja arvioinnille. Menetelmänä sovelletaan operaatioanalyysin keinoja, muun muassa lyhyin polku -algoritmia. Artikkelia on käsitelty tarkemmin luvussa 9.3 Aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelu.

ANDEREGG & PENNA & WIDMAYER. CONFERENCE PROCEEDINGS 2002.

#### ONLINE TRAIN DISPOSITION: TO WAIT OR NOT TO WAIT?

SCHÖBEL. CONFERENCE PROCEEDINGS 2007.

#### INTEGER PROGRAMMING APPROACHES FOR SOLVING THE DELAY MANAGEMENT PROBLEM

TAKAGI & GOODMAN & ROBERTS. CONFERENCE ARTICLE 2004.

#### OPTIMISING DEPARTURE TIMES AT A TRANSPORT INTERCHANGE TO IMPROVE CONNECTIONS WHEN SERVICES ARE DISRUPTED

Yksi paljon tutkittu operaatioanalyysin sovellusalue on vaihtoyhteyksiin liittyvä viiveidenhallinta. Tästä esimerkkinä on Andereggin et al. (2002) konferenssiartikkeli. Siinä tarkastellaan tilannetta, jossa saapuvan junan viiveen suuruutta ei tiedetä, ja pitäisi tehdä päätös siitä, kannattaako jatkoyhteyskulkuneuvon odottaa vai ei. Vastaavankaltaisia tutkimuksia ovat tehneet myös Schöbel (2007) ja Takagi et al. (2004). Niissä tavoitteena on minimoida kulkuneuvojen ja matkustajien kokonaisviive vaihtoyhteyksissä.

MACHARIS & BONTEKONING. JOURNAL ARTICLE 2004.

### **OPPORTUNITIES FOR OR IN INTERMODAL FREIGHT TRANSPORT RESEARCH: A REVIEW**

Macharis ja Bontekoning (2004) tutkivat operaatioanalyysin tarjoamia mahdollisuuksia intermodaalikuljetuksissa. Heidän mukaansa aihetta tulisi tutkia enemmän, sillä aikaisemmin tarkastelussa on ollut pääasiassa yhden liikennevälineen järjestelmät. Tarkastelussa osoittautuu, että operaatioanalyysin tarjoamat menetelmät soveltuisivat hyvin myös intermodaalikuljetusten tarkasteluun. Täsmällisyys on artikkelissa vain sivuroolissa.

HUISMAN & KROON & LENTINK & VROMANS. JOURNAL ARTICLE 2005.

### **OPERATIONS RESEARCH IN PASSENGER RAILWAY TRANSPORTATION**

Huisman et al. (2005) tarkastelevat, kuinka moderneja operaatioanalyysin menetelmiä tällä hetkellä käytetään matkustajaliikenteen tutkimisessa. He jakavat tutkimukset strategiseen, taktiseen ja operatiiviseen tasoon. Esiteltävät tutkimukset liittyvät esimerkiksi aikataulujen, kaluston ja henkilöstön optimointiin sekä liikenteenohjauksen ja luotettavuuden arviointiin. Löydöksiä peilataan alankomaalaisen operaattorin kokemuksiin ongelmiin.

#### **6.5.2 Yhteenveto ja johtopäätökset**

Katsauksessa nousi esille jonkin verran tutkimuksia, joissa hyödynnettiin operaatioanalyysin menetelmiä. Useimmissa tutkimuksissa tavoitteena oli yksittäiseen aika-tilaan tai kapasiteetinkäyttöön liittyvän ongelman optimointi. Myös yksittäisten liikenteenohjauksellisten ongelmien optimointia tarkasteltiin. Valtaosassa näistä tutkimuksista täsmällisyys oli kuitenkin vain sivuosassa. On kuitenkin huomattava, että tähän teemaan luokiteltiin vain ne artikkelit, joissa operaatioanalyysiä menetelmänä korostettiin. Monet julkaisuista, joissa on hyödynnetty jotakin matemaattista tai tilastollista menetelmää, voitaisiin katsoa kuuluviksi myös tähän lukuun.

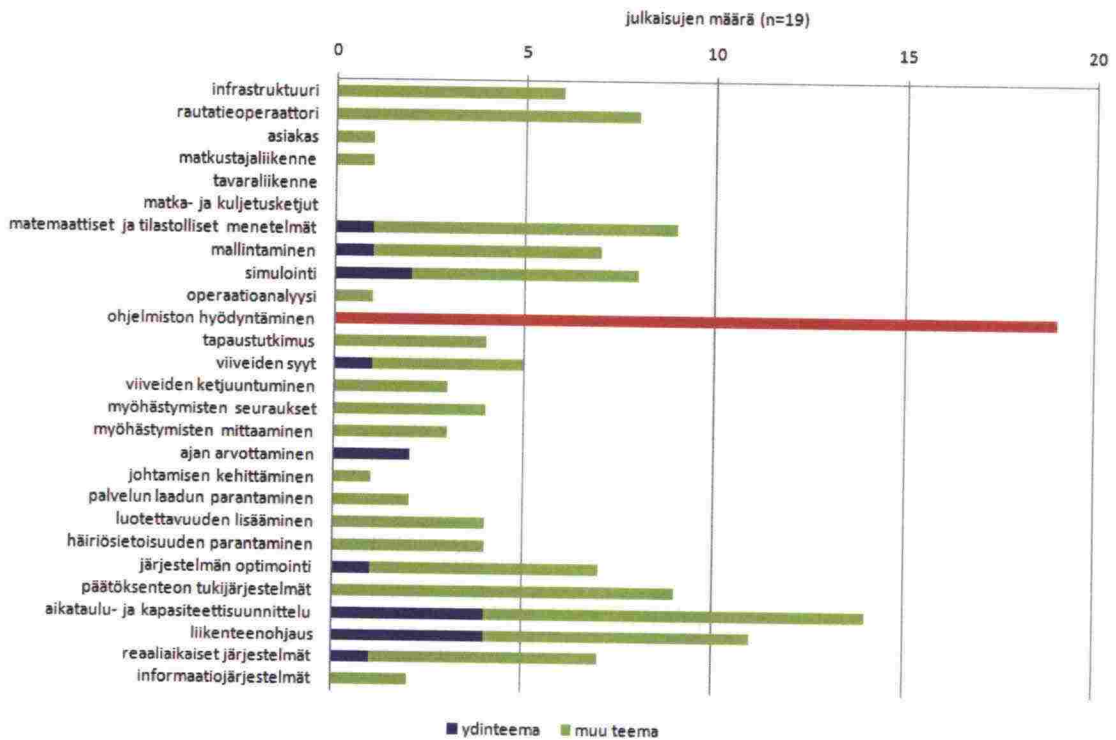
Perinteiset operaatioanalyysin menetelmät soveltuvat vain melko yksinkertaisten ongelmien ratkaisuun, joten koko järjestelmän tutkiminen voi olla niiden avulla hankalaa. Sen sijaan erilaisten osajärjestelmien tarkastelussa menetelmät puoltavat paikkaansa. Tutkittavaa riittää: esimerkiksi Macharis ja Bontekoning (2004) toteavat, että intermodaalikuljetusten tutkimuksessa menetelmiä ei juuri ole sovellettu. Yhdistettynä muihin menetelmiin, kuten simulointiin, operaatioanalyysin menetelmiä voitaisiin soveltaa nykyistä huomattavasti laajemmin.

#### **6.6 Ohjelmiston hyödyntäminen**

Tässä luvussa on tarkasteltu täsmällisyyteen liittyviä tutkimuksia, joissa kehitetään, hyödynnetään tai testataan jotakin tietokoneohjelmistoa. Tietokoneohjelmistoja itsessään ei voi kutsua tutkimusmenetelmäksi. Sen sijaan ne mahdollistavat eri menetelmien, kuten mallintamisen, simuloinnin tai operaatioanalyysin, käytön. Niinpä tässä luvussa julkaisuja ei käsitellä kovinkaan laajasti, vaan keskitytään kartoittamaan, minkälaisiin käyttötarkoituksiin ohjelmistoja on kehitetty. Tarkoituksena ei myöskään ole nostaa esille kaikkia niitä julkaisuja, joissa on hyödynnetty jotakin ohjelmistoa, vaan laatia mahdollisimman havainnollinen kuva siitä, mihin kaikkeen niitä voidaan käyttää.



Kuvassa 6.5 on tarkasteltu niitä 19 artikkelia, joissa ohjelmiston hyödyntäminen arvioitiin ydinteemaksi.



Kuva 6.5 Ydinteeman OHJELMISTON HYÖDYNTÄMINEN kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat.

Kuvasta 6.5 havaitaan, että ohjelmistot kytkeytyvät usein matemaattisten ja tilastollisten menetelmien, mallintamisen ja simuloinnin hyödyntämiseen. Tavoitteena niiden käytöllä näyttää ennen kaikkea olevan aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelun sekä liikenteenohjauksen tukeminen.

Raportin liitteenä on luettelo ohjelmiston hyödyntäminen -teemaa käsittelevistä julkaisuista. Mukana on 44 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus).

Luvussa 6.6.1 tarkastellaan sellaisia julkaisuja, joissa täsmällisyys on ollut erityisen merkittävässä asemassa. Lukuun 6.6.2 on puolestaan koottu julkaisuja, jotka ovat ohjelmiston hyödyntämisen kannalta mielenkiintoisia, mutta joissa täsmällisyys on vain sivuosassa. Yhteenveto havainnoista on esitetty luvussa 6.6.3.

#### 6.6.1 Täsmällisyyden näkökulmasta keskeisiä ohjelmiston hyödyntämistä käsitteleviä julkaisuja

JOVANOVIĆ. DISSERTATION 1989.

##### IMPROVING RAILROAD ON-TIME PERFORMANCE: MODELS, ALGORITHMS AND APPLICATIONS

Jovanovic (1989) tarkastelee väitöskirjassaan malleja, algoritmeja ja sovelluksia, joiden avulla rautatieliikenteen täsmällisyyttä voidaan parantaa. Kirjoittajan mukaan epä-

täsmällisyys ja siitä johtuva huono palvelutaso on yksi suurimmista ongelmista monen kehittyneen maan rautatieliikennejärjestelmässä.

Kehittyvissä maissa ongelmana puolestaan on usein yksiraiteisten järjestelmien puutteellinen kapasiteetti sekä riittämätön rahoitus parannuksia varten. Väitöskirja ottaa kantaa näihin ongelmiin esittelemällä metodologisen viitekehyksen ja joukon päätöksenteon tukityökaluja, jotka on tarkoitettu kapasiteetin parempaan käyttöön reaaliaikaisen, tietokoneavusteisen liikenteenohjauksen (*CAD, computer-aided train dispatching*) keinoin, sekä toteuttamiskelpoisten ja luotettavien aikataulujen taktisen tason suunnitteluun.

Väitöskirjassa esitelty metodologinen viitekehys pyrkii abstraktilla tasolla valottamaan, miten *CAD*-järjestelmiä voisi hyödyntää nykyistä paremmin liikenteenohjauksessa. Kirjoittajan mukaan olemassa olevat järjestelmät esimerkiksi pyrkivät maksimoimaan ajoissa olevien junien määrän, vaikka parempi tavoite olisi kokonaisviiveiden minimointi. Kirjoittajan mukaan optimaalista *CAD*-ohjelmistoa ei kuitenkaan ole helppo toteuttaa: liikenteenohjausongelmat ovat luonteeltaan hyvin kombinatorisia ja vaativat monimutkaisia optimointialgoritmeja, jotka tarjoavat reaaliaikaisesti riittävän hyviä vastauksia. Väitöskirjassa kehitetään näitä algoritmeja. Niiden avulla voidaan minimoida epätäsmällisyys erilaisissa eksakteissa ja heuristisissa tapauksissa huomattavasti tehokkaammin kuin käytössä olevilla algoritmeilla. Niitä käyttämällä *CAD*-ohjelmisto pystyy käsittelemään aiempaa suurempia liikennemääriä, laajempia verkkoja ja pidempiä ajanjaksoja siten, että lopputulos on optimaalinen tai lähes-optimaalinen.

Taktisen tason aikataulusuunnitteluun tarkoitettua päätöksentekometodologiaa puolestaan sovelletaan *SCAN II* -aikataulunanalysointiohjelmiston avulla. *SCAN II*:n avulla aikatauluista voidaan havaita ja poistaa ongelmia, jotka käyvät ilmi datasta, joka on saatu todellisesta liikenteestä ja simulaatioista. *SCAN II*:n avulla tehtyjen analyysien perusteella artikkelissa todetaan, että epätäsmällisyys on usein puutteellisen aikataulusuunnittelun syytä. Kirjoittaja näkeekin, että tulevaisuuden haasteena on ennen kaikkea häiriösietoisten aikataulujen suunnittelu.

Jovanovicin väitöskirja on melko vanha, mutta asiat ovat ajankohtaisia. Kirjoittajalla ei ole muita julkaisuja tässä kirjallisuuskatsauksessa. Sisältönsä puolesta julkaisua olisi voitu käsitellä myös luvussa 6.2 Matemaattiset ja tilastolliset menetelmät tai luvussa 6.3 Mallintaminen.

GOVERDE & DAAMEN & HANSEN. CONFERENCE PROCEEDINGS 2008.

#### **AUTOMATIC IDENTIFICATION OF ROUTE CONFLICT OCCURRENCES AND THEIR CONSEQUENCES**

Goverde et al. (2008) esittelevät kehittelemänsä työkalun nimeltä *TNV-Conflict*. Sen avulla voidaan jälkeenpäin analysoida, mikä ongelma, häiriö tai virhe on aiheuttanut tietyt myöhästymiset. Se on lisäksi suunniteltu niin, että sitä voidaan käyttää myös reaaliajassa konfliktien tunnistamiseen ja ratkaisemiseen siten, että aiheutuvat viiveet ovat kokonaisuudessaan mahdollisimman pieniä mutta jakautuvat samalla tasapuolisesti. Artikkelin on esitelty tarkemmin luvussa 7.2 Viiveiden syyt. Tekijät esiintyvät tässä katsauksessa myös monessa muussa yhteydessä.



GOVERDE. DISSERTATION 2005.

**PUNCTUALITY OF RAILWAY OPERATIONS AND TIMETABLE STABILITY ANALYSIS**

Edellisen artikkelin tekijöistä Goverde käsittelee väitöskirjassaan (Goverde 2005) ja muissa tutkimuksissaan rautatieliikenteen täsmällisyyttä ja rautatieliikenteen aikataulujen analysointia Alankomaiden näkökulmasta, hyvin matemaattisesta näkökulmasta. Tutkimuksissaan hän hyödyntää muun muassa *TNV-Prepare*-ohjelmistoa, jolla voidaan analysoida toteutunutta kapasiteetin käyttöä, sekä *PETER*-ohjelmistoa, jolla voidaan analysoida kompleksisten aikataulujen suorituskykyä. Väitöskirjaa ja muita Goverden tutkimuksia on tarkasteltu tarkemmin esimerkiksi luvussa 8.5 Häiriösietoisuuden parantaminen.

**6.6.2 Ohjelmiston hyödyntämistä käsitteleviä muita julkaisuja**

DE FABRIS & LONGO & MEDEOSSI. CONFERENCE PROCEEDINGS 2008.

**AUTOMATED ANALYSIS OF TRAIN EVENT RECORDER DATA TO IMPROVE MICRO-SIMULATION MODELS**

De Fabris et al. (2008) esittelevät uuden ohjelmiston junien liikennöinnistä kerätyn datan analysointiin. Datan lähteinä voivat toimia juniin asennetut laitteet, jotka keräävät yksityiskohtaista tietoa junien liikkeistä ja opastimien tiloista. Ohjelmisto hyödyntää simulaatiomalleja ja tarjoaa näin keinon ennustaa stokastisesti järjestelmän tilan kehittymistä. Menetelmän avulla saatua tietoa voidaan hyödyntää junien liikennöinnin ja tarkemmin esimerkiksi kiihdytys- ja jarrutuskäyrien suunnittelussa, millä on myönteinen vaikutus myös täsmällisyyteen. Pohjois-Italiassa toteutetuissa testeissä simulaatioilla on päästy huomattavasti parempaan tarkkuuteen kuin aiemmin.

NASH & ULLIUS. CONFERENCE PROCEEDINGS 2004.

**OPTIMIZING RAILWAY TIMETABLES WITH OPENTIMETABLE**

Nash ja Ullius (2004) esittelevät *OpenTimeTable*-nimisen ohjelman, jonka tarkoituksena on auttaa aikataulusuunnittelijoita tunnistamaan täsmällisyyteen liittyviä ongelma-kohtia. Ohjelma analysoi eroja suunnitellun ja toteutuneen aikataulun välillä ja tuottaa tuloksena sekä tilastollista dataa että graafisia esityksiä. Näin suunnittelijoiden on helpompi huomata kohdat, joissa esiintyy merkittäviä tai toistuvia ongelmia. Suunnittelijat voivat käyttää ohjelman tuottamia tietoja aikataulujen kehittämiseen ja infrastruktuurin käytön optimointiin, jolloin myös täsmällisyys paranee. Sisältönsä puolesta artikkelia olisi voitu käsitellä myös järjestelmän optimointi tai kapasiteetti- ja aikataulusuunnittelu -teemoissa.

JACOBS. CONFERENCE PROCEEDINGS 2004.

**REDUCING DELAYS BY MEANS OF COMPUTER-AIDED 'ON-THE-SPOT' RESCHEDULING**

Jacobs (2004) käsittelee automaattista liikenteenohjausjärjestelmää. Se on suunniteltu keskittyen erityisesti poikkeustilanteisiin, joissa se luo uuden aikataulun vanhan tilalle konfliktitilanteiden ehkäisemiseksi. Menetelmän avulla voidaan tunnistaa ja eliminoida ennakoivasti myös hyvin etäisiä konflikteja. Sitä voidaan soveltaa joko täysin automaattisesti tai niin, että ehdotus annetaan vain tiedoksi liikenteenohjaajalle, joka tekee asiasta lopullisen päätöksen. Tietokoneavusteista liikenteenohjausta on tutkittu paljon. Asiaa käsitteleviä artikkeleita on esitelty laajemmin luvuissa 9.4 Liikenteenohjaus ja 9.5 Reaaliaikaiset järjestelmät.



VROMANS & DEKKER & KROON. CONFERENCE PROCEEDINGS 2004.

#### **SIMULATION AND RAILWAY TIMETABLING NORMS**

Vromansin ja Dekkerin (2004) mukaan paikallisjunien ja kaukojunien väliset nopeuserot ovat yksi pääsyyistä Alankomaiden rautatiejärjestelmän suurelle käyttöasteelle ja häiriöherkkyydelle. Tutkimuksessaan he vertailevat kahta tilannetta keskenään, täsmällisyyden näkökulmasta: toisessa nopeuserot ovat suuret, toisessa pienet. Työkaluna käytetään SIMONE-simulointiohjelmistoa. Ohjelmistolla voidaan simuloida valtion laajuista järjestelmää, ja se on yhteensopiva puoliautomaattisen aikataulutushjelman DONS:in kanssa. Kirjoittajien mukaan SIMONE-ohjelmistoa käytetään sekä pragmaattisiin tarkoituksiin, kuten kahden aikatauluvaihtoehdon vertailuun, sekä tieteelliseen tutkimukseen. Menetelmänsä puolesta artikkeli olisi sopinut myös lukuun 6.4 Simulointi ja tavoitteensa puolesta lukuun 9.3 Aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelu.

HOOGHIEMSTRA & TEUNISSE & MAURICE. CONFERENCE PROCEEDINGS 1998.

#### **USE OF SIMULATION IN THE PLANNING OF THE DUTCH RAILWAY SERVICES**

Edellä esitellyssä tutkimuksessa mainittua DONS-ohjelmistoa käsitellään jo vuodelta 1998 olevassa Hooghiemstran ja Teunissen konferenssiartikkelissa (Hooghiemstra & Teunisse 1998). Artikkelin mukaan Alankomaiden rautateiden (NS) aikataulujen suunnittelu tehdään täysin DONS:in (*Designer of Network Schedules*) avulla. Artikkelissa rakennetaan toimiva prototyyppi simulointityökalusta, joka voidaan liittää DONS:iin ja jolla voidaan arvioida tuotettujen aikataulujen häiriösietoisuutta. Työkalu on mitä ilmeisimmin edellä mainitun SIMONE:n varhainen versio. Prototyypin avulla voidaan tutkia, mitä vaikutuksia pienillä häiriöillä on junien täsmällisyyteen. Myös tämä artikkeli olisi sisältönsä puolesta sopinut moneen muuhunkin teemaan.

KUMAZAWA & HARA & KOSEKI. CONFERENCE PROCEEDINGS 2008.

#### **A NOVEL TRAIN RESCHEDULING ALGORITHM FOR CORRECTING DISRUPTED TRAIN OPERATIONS IN A DENSE URBAN ENVIRONMENT**

Kumazawa et al. (2008) esittelevät kehittämänsä järjestelmää, jonka tarkoitus on helpottaa aikataulun suunnittelemista uudelleen häiriötilanteissa. Järjestelmä analysoi tilannetta matkustajavirran kautta ja pyrkii minimoimaan suuren, jota kutsutaan matkustajien epämukavuudeksi (*passenger inconvenience*). Näin aikataulusuunnittelu voidaan tehdä kvantitatiiviseen analyysiin perustuen, kun aiemmin häiriötilanteissa aikataulut on yleensä pohjautunut vähemmän systemaattisesti aiempiin kokemuksiin ja subjektiivisiin näkemyksiin. Menetelmä ottaa huomioon myös sen, että uuden aikataulun suunnitteluun, viestimiseen ja täytäntöönpanoon kuluu jo sinällään aikaa, mikä aiheuttaa viivettä ja vaikuttaa näin matkustajavirtoihin. Sisältönsä puolesta artikkeli olisi voitu sijoittaa myös moneen muuhun teemaan, kuten matemaattisiin ja tilastollisiin menetelmiin, ajan arvottamiseen tai aikataulu- ja kapasiteettisuunnitteluun.

ALSTON & DAVIES. JOURNAL ARTICLE 1970.

#### **CYBERNETIC OPERATION OF RAILWAY TRAFFIC**

Alston ja Davies (1970) esittävät mahdollisuuden hyödyntää tieto- ja viestintäteknologiaa rautateiden liikenteenohjauksessa, joka artikkelin kirjoittamisen aikaan oli huomattavasti vähäisempää ja alkeellisempää kuin nykyään. Artikkelissa esitellään British Railwaysin visioima järjestelmä, jossa heti häiriön tai aikataulupoikkeaman tapahduttua lasketaan tietokoneiden avulla nopeasti uusi, viiveet minimoiva aikataulu. Artikkelin on vuodelta 1970, joten nykyisen tutkimuksen kannalta sillä ei enää juuri ole merkitystä.



D'ARIANO & PACCIARELLI & PRANZO. JOURNAL ARTICLE 2008.  
**ASSESSMENT OF FLEXIBLE TIMETABLES IN REAL-TIME TRAFFIC MANAGEMENT OF A RAILWAY BOTTLENECK**

D'ARIANO & PRANZO. JOURNAL ARTICLE 2009.  
**AN ADVANCED REAL-TIME TRAIN DISPATCHING SYSTEM FOR MINIMIZING THE PROPAGATION OF DELAYS IN A DISPATCHING AREA UNDER SEVERE DISTURBANCES**

D'ARIANO & PRANZO & HANSEN. JOURNAL ARTICLE 2007.  
**CONFLICT RESOLUTION AND TRAIN SPEED COORDINATION FOR SOLVING REAL-TIME TIMETABLE PERTURBATIONS**

D'Ariano yhdessä Delftin teknillisen yliopiston tutkimusryhmän kanssa on tehnyt paljon tutkimusta liittyen reaaliaikaiseen liikenteenohjaukseen häiriötilanteissa (ks. esim. D'Ariano et al. 2008b, D'Ariano & Pranzo 2009, D'Ariano et al. 2007). Tutkimusten lähestymistapa on hyvin matemaattinen ja erilaisia ohjelmistoja käytetään paljon tarkastelun tukena. Ryhmän tutkimuksia on tarkasteltu lähemmin toisaalla tässä katsauksessa, laajimmin luvussa 9.5 Reaaliaikaiset järjestelmät.

VUKADINOVIC & TEODOROVIC & PAVKOVIC & ROSIC. JOURNAL ARTICLE 1996.  
**A NEURAL NETWORK APPROACH TO MITIGATION OF VEHICLE SCHEDULE DISTURBANCES**

PETERS & EMIG & JUNG & SCHMIDT. CONFERENCE PROCEEDINGS 2005.  
**PREDICTION OF DELAYS IN PUBLIC TRANSPORTATION USING NEURAL NETWORKS**

Sekä Vukadinovic et al. (1996) että Peters et al. (2005) hyödyntävät tutkimuksissaan ohjelmistoja, jotka perustuvat neuroverkkoihin. Neuroverkko-ohjelmistojen ideana on, että niillä on kyky oppia ja mukautua niihin syötettyjen esimerkkipäätöksien avulla, minkä jälkeen niillä voidaan ennakoida esimerkiksi viiveiden ketjuuntumista. Neuroverkot ovat yksi tiedonlouhintamenetelmä, joten artikkeleita on käsitelty tarkemmin luvussa 6.2 Matemaattiset ja tilastolliset menetelmät.

SAKOWITZ & WENDLER. CONFERENCE PROCEEDINGS 2006.  
**OPTIMISING TRAIN PRIORITIES TO SUPPORT THE REGULATION OF TRAIN SERVICES WITH THE ASSISTANCE OF ACTIVE AND DEDUCTIVE DATABASES**

Sakowitz ja Wendler (2006) esittelevät menetelmän, jossa liikenteenohjaus perustuu juna- ja yhteyskohtaisesti määritettäviin viiveiden taloudellisiin arvoihin ja näiden kautta tehtävään optimointiin. Laskennallisten vaatimusten keventämiseksi menetelmässä hyödynnetään deduktiivisesti toimivaa, aktiivista tietokannan hallintajärjestelmää (*DBMS, Database Management System*). Artikkelia on käsitelty myös luvussa 7.6 Ajan arvottaminen. Tavoitteensa puolesta käsittely olisi voitu tehdä myös luvussa 8.6 Järjestelmän optimointi.

SHIMIZU & TANABE & HONDA & YASURA. CONFERENCE PROCEEDINGS 2006.  
**THE NEW SHINKANSEN RESCHEDULING SYSTEM FOR DRIVERS AND CREW**

Shimizu et al. (2006) käsittelevät Shinkansenin uutta kuljettajien ja henkilökunnan töiden uudelleenaikatauluttamisjärjestelmää. Artikkelia on käsitelty hiukan laajemmin luvussa 8.5 Häiriösietoisuuden parantaminen.

MAO & JIA & CHEN & LIU. CONFERENCE PROCEEDINGS 2007.

#### **A COMPUTER-AIDED MULTI-TRAIN SIMULATOR FOR RAIL TRAFFIC**

Mao et al. (2007) esittelevät simulointiohjelmiston, jolla voidaan tarkastella esimerkiksi vuorovälien vaikutuksia viiveisiin. Artikkelin on esitelty laajemmin luvussa 6.4 Simulointi.

SINHA & RAJPUT & ASTHANA. CONFERENCE PROCEEDINGS 1990.

#### **EXDAFS--AN EXPERT SYSTEM FOR DYNAMIC ALLOCATION OF FACILITIES AT STATIONS**

Sinha et al. (1990) esittelevät EXDAFS-järjestelmän, jonka avulla voidaan allokoida erilaisia tukipalveluja junille. Järjestelmä toimii dynaamisesti siten, että allokointi on optimaalista myös silloin, kun junat kärsivät viiveistä.

### **6.6.3 Yhteenvedo ja johtopäätökset**

Kuten oletettavaa oli, erilaisia tietokoneohjelmistoja hyödynnetään laajasti rautatie-liikennejärjestelmän ja myös sen täsmällisyyden tutkimuksessa. Erityisesti aikataulu- ja kapasiteettisuunnitteluun sekä reaaliaikaiseen liikenteenohjaukseen liittyviä ohjelmistoja nousi esille runsaasti. Aikataulu- ja kapasiteettisuunnitteluun kehitettyjen ohjelmistojen tarkoituksena on esimerkiksi olemassa olevien aikataulujen ja liikennöintidatan analysointi, erityyppiset optimointitehtävät sekä häiriösietoisuuden lisääminen. Ohjelmistojen tekniikka perustuu lähes aina jollakin tavalla simulointiin. Lisäksi käytettäviin algoritmeihin kiinnitetään paljon huomiota.

Reaaliaikaisen liikenteenohjauksen tavoitteena puolestaan on yleensä erilaisista häiriötilanteista toipuminen mahdollisimman pienin kielteisillä seurauksin. Nämä ohjelmistot toimivat joko kiinteästi osana liikenteenohjaajan järjestelmää tai erillisinä päätöksenteon tukityökaluina. Jonkin verran esille nousi myös ohjelmistoja, jotka liittyivät liikenteen ennakkointiin tai esimerkiksi viivesyiden automaattiseen tunnistamiseen.

Tässä luvussa esiteltiin vain ne julkaisut, joissa jonkin ohjelmiston hyödyntäminen oli korostetussa asemassa. Hyvin monissa muissakin tutkimuksissa hyödynnetään erilaisia ohjelmistoja. Siksi tämän luvun perusteella ei ole mahdollista esittää suuntaviivoja siitä, miten ohjelmistoja tulisi hyödyntää nykyistä laajemmin erityisesti täsmällisyyteen liittyvässä tutkimuksessa. Myös tässä luvussa näkyy se, että rautatieliikennejärjestelmän tutkimus on hyvin matemaattista ja systeemikeskeistä: mallintamista, algoritmeja ja simulointia hyödynnetään paljon. Näin ollen esimerkiksi asiakkaan rooli ja taloudelliset tarkastelut jäävät vähemmälle. Lisäksi näyttää siltä, että olemassa olevaa täsmällisyyteen liittyvää dataa voisi analysoida nykyistä monipuolisemmin ja laajemmin. Toistaiseksi tarkastelun kohteena on usein ollut vain pieni osajärjestelmä.

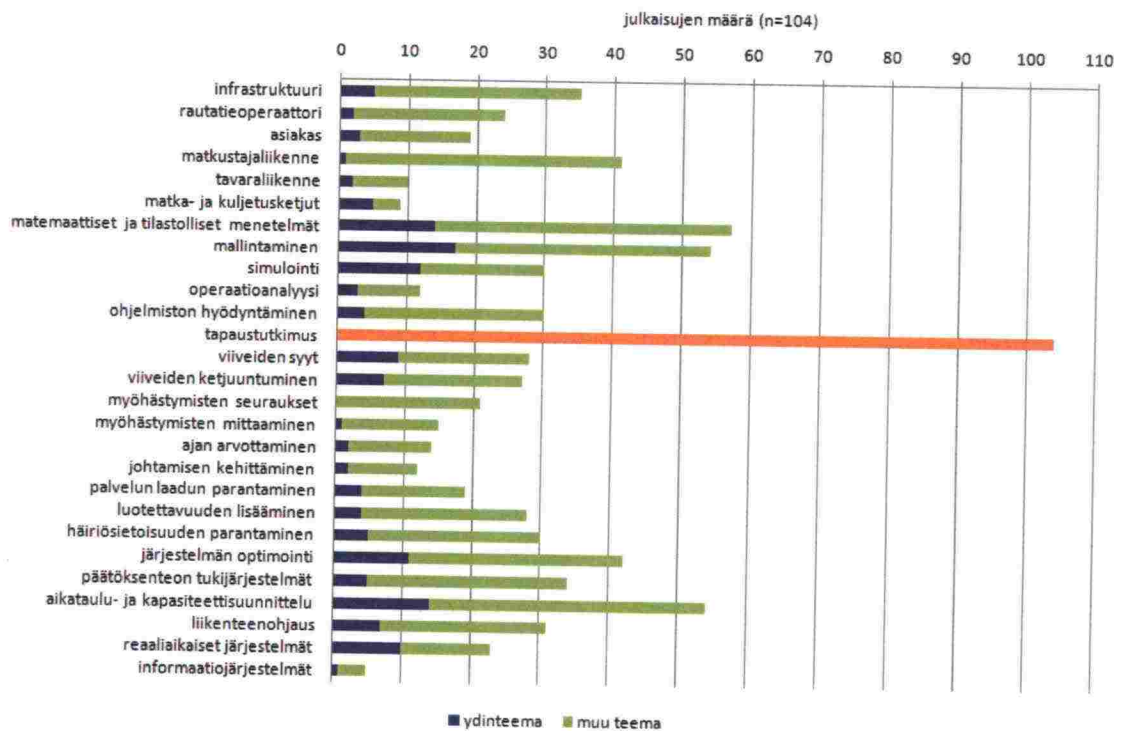
Lopuksi kannattaa huomata, että erilaisia ohjelmistoja käsitellään myös muissa tämän katsauksen luvuissa, erityisesti luvussa 10. Kyseisessä luvussa tarkastellaan tutkimuksia, joissa korostuu jonkin konkreettisen järjestelmän kehittäminen. Tällaisia ovat esimerkiksi päätöksenteon tukijärjestelmät sekä liikenteenohjausjärjestelmät.



## 6.7 Tapaustutkimus

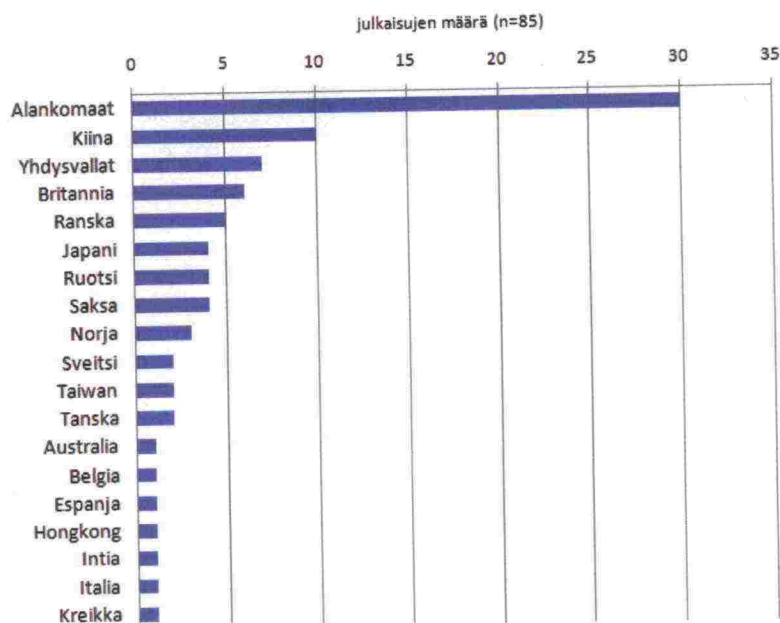
Kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan täsmällisyystutkimusta tieteellisestä näkökulmasta. Julkaisuissa käsitellään myös konkreettisempia tapauksia ja ne on otettu huomioon eritasoisten tapaustutkimuksien avulla.

Konkreettisempia tapauksia on materiaalissa käsitelty hyvin eritasoisesti. Joukossa on sekä kattavia tapaustutkimuksia sekä kehitettyjen mallien testausta todellisten esimerkkien avulla. Tapauksia on mukana artikkelissa hyvin monien teemojen yhteydessä. Kuvasta 6.6 nähdään, että todellisia tapauksia tai varsinaista tapaustutkimusta on lähes kaikkien teemojen yhteydessä, mutta voimakkaammin esimerkiksi mallintamisen ja aikataulusuunnittelun yhteydessä. Näitä teemoja käsittelevissä julkaisuissa esitellään usein todellinen rataosa tai ongelma, johon esitettyä tutkimusta on sovellettu.



Kuva 6.6 Teeman TAPAUSTUTKIMUS kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat.

Erilaisia tapauksia on kirjallisuuskatsauksen julkaisuissa mukana paljon, yhteensä 104. Nämä tapaukset ovat usein konkreettisia kohteita ja tapaustutkimuksissa viitataan usein johonkin maahan. Yhteensä 85:ssä tapaustutkimusta hyödyntäneessä julkaisussa on mainittuna jokin maa, josta tapaus on valittu. Kuvassa 6.7 on esitettyinä ne 19 maata, jotka esiintyvät tapaustutkimuksen yhteydessä.



Kuva 6.7 Maat, joita on käsitelty teeman TAPAUSTUTKIMUS yhteydessä.

Kuvasta 6.5 nähdään, että merkittävä osa julkaisuissa käsitellyistä tapauksista on Alankomaista. Kirjallisuuskatsauksessa kaiken kaikkiaan alankomaalaisten julkaisujen ja tekijöiden osuus on suuri, joten tämä tulos on linjassa kirjallisuuskatsauksessa tehtyjen yleisen havainnon kanssa siitä, että Alankomaissa täsmällisyystutkimusta tehdään paljon.

Raportin liitteenä on luettelo tapaustutkimus-teemaan liittyvistä julkaisuista. Mukana on 64 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus).

Seuraavassa on esitetty muutamia poimintoja tapaustutkimusta hyödyntäneistä tutkimuksista. Ne antavat myös yleispiirteisen käsityksen siitä, miten tapaustutkimusta on rautateiden täsmällisyystutkimuksessa hyödynnetty.

#### 6.7.1 Esimerkkejä julkaisuista, joissa tapaustutkimuksen kohteena on jokin osa rataverkkoa

Tässä luvussa on esitelty tapaustutkimuksia, joissa case-kohteeksi on valittu jokin osa rataverkolta, esimerkiksi yksittäinen asema tai rataosa.

CAVANA & CORBETT & LO. JOURNAL ARTICLE 2007.

#### DEVELOPING ZONES OF TOLERANCE FOR MANAGING PASSENGER RAIL SERVICE QUALITY

Cavana et al. (2007) ovat testanneet palvelun laadun arviointiin käytettyä työkalua ja arvioineet sen toimintamahdollisuuksia käyttäen esimerkkinä yhtä rataosaa Uudessa-Seelannissa. Tapaustutkimuksen osuus on siis empiirinen laadun arvioinnissa käytettävän mittariston testaus.



CHENG & YANG. JOURNAL ARTICLE 2009.

**A FUZZY PETRI NETS APPROACH FOR RAILWAY TRAFFIC CONTROL IN CASE OF ABNORMALITY: EVIDENCE FROM TAIWAN RAILWAY SYSTEM**

Cheng ja Yang (2009) ovat valinneet tutkimuksessaan tarkasteltavaksi kohteeksi tietyn rataosan Taiwanista.

CAREY & CARVILLE. JOURNAL ARTICLE 2000.

**TESTING SCHEDULE PERFORMANCE AND RELIABILITY FOR TRAIN STATIONS**

Careyn ja Carvillen (2000) tutkimuksen case-kohteena toimii Leedsin asema. Syynä kyseisen aseman valintaan on ollut junien liikennöinnistä saatavilla ollut kattava data.

VANSTEENWEGEN & VAN OUDHEUSDEN. JOURNAL ARTICLE 2006.

**DEVELOPING RAILWAY TIMETABLES WHICH GUARANTEE A BETTER SERVICE**

Artikkelissa esitellään menetelmä, jota on käytetty lyhyelle osalle Belgian rataverkkoa. Tapaustutkimuksen tuloksena luotiin aikataulurakenne, jossa vaihtoyhteydet toimivat ja odotusajan kustannukset vähenivät 40 prosenttia. (Vansteenwegen & Van Oudheusden 2006)

RICCI & TIERI. CONFERENCE PROCEEDINGS 2008.

**A PETRI NETS BASED DECISION SUPPORT TOOL FOR RAILWAY TRAFFIC CONFLICTS FORECASTING AND RESOLUTION**

Riccin ja Tierin (2008) esittelemää työkalua on testattu laajasti italialaisella rataosuudella vertaamalla simulointituloksia todellisiin viiveisiin.

HUISMAN & BOUCHERIE. JOURNAL ARTICLE 2001.

**RUNNING TIMES ON RAILWAY SECTIONS WITH HETEROGENEOUS TRAIN TRAFFIC**

Huisman ja Boucherie (2001) ovat tutkineet tilannetta, jossa samalla rataosuudella liikennöi erilaisia junatyyppejä. Tätä ilmiötä tarkastellaan hyödyntäen stokastista mallia, joka ottaa huomioon sekä aikataulutetut että aikatauluttamattomat junien liikkeet. Mallin soveltuvuus pragmaattiseen käyttöön – sekä lyhyen että pitkän ajan suunnitteluun – osoitetaan tapaustutkimuksella, joka sijoittuu alankomaalaiselle rataosuudelle.

**6.7.2 Esimerkkejä tapaustutkimuksen hyödyntämisestä menetelmien ja mittarien toimivuuden varmistamisessa**

Toisena tapaustutkimuksen hyödyntämisen ryhmänä ovat julkaisut, joissa tapaus-tutkimuksella on varmistettu menetelmän tai mallin toimivuus tai testattu järjestelmien tai täsmällisyyden mittareiden toimivuutta.

FERREIRA & HIGGINS. CONFERENCE PROCEEDINGS 1998.

**SCHEDULING RAIL TRACK MAINTENANCE**

Ferreira ja Higgins (1998) ovat tutkimuksessaan kunnossapidon aikatauluttamisesta tarkastelleet tapaustutkimuksen avulla, kuinka kehitetty menetelmä vaikuttaa viiveisiin. Heidän mukaansa tapaustutkimus osoittaa, että kunnossapidon aikaikkunan kasvattaminen siirtämällä vähemmän tärkeitä junia vähentää mahdollisia viiveitä merkittävästi.

VROMANS & DEKKER & KROON. JOURNAL ARTICLE 2006.

**RELIABILITY AND HETEROGENEITY OF RAILWAY SERVICES**

Vromans et al. (2006) ovat käyttäneet tapaustutkimusta täsmällisyyden mittareiden toimivuuden testaamiseen. Tutkimuksessa on hyödynnetty sekä teoreettista että käytännön tapaustutkimusta; osin apuna on käytetty myös simulointia.

HALLOWELL & HARKER. JOURNAL ARTICLE 1998.

**PREDICTING ON-TIME PERFORMANCE IN SCHEDULED RAILROAD OPERATIONS: METHODOLOGY AND APPLICATION TO TRAIN SCHEDULING**

DAAMEN & HOUBEN & GOVERDE & HANSEN & WEEDA. REPORT 2008.

**MONITORING SYSTEM FOR RELIABILITY OF RAIL TRANSPORT CHAINS**

Useissa artikkeleissa on testattu tutkimuksessa kehitetyn menetelmän toimivuutta tapausten avulla. Hallowell ja Harker (1998) esittelevät menetelmän toimivuutta tapaustutkimuksen avulla. Myös Daamen et al. (2008) tarkastelevat tapaustutkimuksen kautta tiedonvälitysjärjestelmän toimivuutta ja sen hyötyjä tutkimuksessaan, jossa tarkastellaan matkaketjujen luotettavuutta.

STENBECK. JOURNAL ARTICLE 2008.

**QUANTIFYING EFFECTS OF INCENTIVES IN A RAIL MAINTENANCE PERFORMANCE-BASED CONTRACT**

Stenbeck (2008) tarkastelee melko laaja-alaisesti kannustimia erilaisissa laatuun pohjautuvissa sopimuksissa. Tapaustutkimuksena tarkastellaan rautatieliikenteen kunnossapidon sopimuksia.

KROON & MARÓTI & HELMRICH & VROMANS & DEKKER. JOURNAL ARTICLE 2008.

**STOCHASTIC IMPROVEMENT OF CYCLIC RAILWAY TIMETABLES**

Tutkimuksessa kehitettyä mallia testattiin alankomaalaisella rautatieoperaattorilla NS Reizigersillä. Mallilla todettiin olleen positiivinen vaikutus tarkastellun kohteen täsmällisyyteen. (Kroon et al. 2008)

BATES & POLAK & JONES & COOK. JOURNAL ARTICLE 2001.

**THE VALUATION OF RELIABILITY FOR PERSONAL TRAVEL**

Tapaustutkimuksen tuloksena on pystytty laskemaan luotettavuudelle arvo eli on määritetty, kuinka paljon epäluotettavuus maksaa minuutilta. Tutkimuksessa todetaan kuitenkin, että määritetty arvo on herkkä niin myöhästymisten jakauman suhteen kuin keskimääräisen myöhästymisenkin suhteen. (Bates et al. 2001)

KAUPPI & WIKSTRÖM & SANDBLAD & ANDERSSON. JOURNAL ARTICLE 2006.

**FUTURE TRAIN TRAFFIC CONTROL: CONTROL BY RE-PLANNING**

Kauppi et al. (2006) ovat antaneet 21:lle liikenteenohjauksen ammattilaiselle testattavaksi uudenlaisen liikenteenohjausjärjestelmän käyttöliittymän. Tapaustutkimuksessa koehenkilöiden tehtävänä oli selvittää jokin tai jotkin neljästä poikkeustilanteesta käyttöliittymän avulla.



OLSSON. JOURNAL ARTICLE 2006.

**IMPACT ANALYSIS OF RAILWAY PROJECTS IN A FLEXIBILITY PERSPECTIVE**

Olsson (2006) tarkastelee tapaustutkimuksen avulla erilaisten rataverkon investointihankkeiden liikenteellisiä vaikutuksia. Siinä on tarkasteltu neljää norjalaista hanketta, erityisesti keskittyen hankkeiden vaikutuksiin täsmällisyyteen, matka-aikaan, liikenteen tiheyteen, kustannuksiin ja matkustajamääriin.

FIOOLE & KROON & MARÓTI & SCHRIJVER. JOURNAL ARTICLE 2006.

**A ROLLING STOCK CIRCULATION MODEL FOR COMBINING AND SPLITTING OF PASSENGER TRAINS**

Fioole et al. (2006) käsittelevät rautatieliikenteen kalustokiertoa ja sen haasteita. Kirjoittajat toteavat, että hyvän kalustokierron toteuttamiseksi tulee ottaa huomioon tehokkuus, palvelu ja häiriöherkkyys. Artikkelissa kuvataan, kuinka rautatieoperaattori NS Reizigers on hyödyntänyt menetelmää.

HUISMAN & BOUCHERIE & VAN DIJK. JOURNAL ARTICLE 2002.

**A SOLVABLE QUEUEING NETWORK MODEL FOR RAILWAY NETWORKS AND ITS VALIDATION AND APPLICATIONS FOR THE NETHERLANDS**

Huisman et al. (2002) ovat kehittäneet jonomallin, jonka avulla pyritään mallintamaan suunnitteilla oleva rautatieverkosto siten, että sen suorituskyyä voidaan testata ennen varsinaista toteuttamista. Mallilla voidaan ilman varsinaisia aikatauluja tarkastella niin uusia verkko-layouteja, liikennöintiskenaarioita kuin kapasiteettilaajennuksiakin. Tuloksena tuotetaan junien keskimääräiset viiveet. Mallin potentiaali osoitetaan tapaustutkimuksella, joka sijoittuu Alankomaihin.

NATHANAIL. JOURNAL ARTICLE 2008.

**MEASURING THE QUALITY OF SERVICE FOR PASSENGERS ON THE HELLENIC RAILWAYS**

Nathanail (2008) kuvaa artikkelissaan erillisenä tapaustutkimuksena suorituskyyvyn arviointiin rakennettua mittaria ja sen toteutusta Kreikan rautateillä (Hellenic Railways).

JIANG & XU & XIE. CONFERENCE PROCEEDINGS 2007.

**TRAIN DELAY PROPAGATION SIMULATION IN RAIL TRANSIT SYSTEM**

Jiang et al. (2007) tarkastelevat simulointisovelluksen avulla, kuinka tarjonnan määrän, pelivaran ja varakaluston määrän muutokset vaikuttavat täsmällisyyteen ja luotettavuuteen. Tuloksia validoidaan case-kohteen avulla. Kirjoittajien mukaan tuloksia voidaan hyödyntää, kun vertaillaan erilaisia aikatauluvaihtoehtoja ennen niiden käyttöönottoa ja kun kehitetään täsmällisyyden johtamista.

GOVERDE. JOURNAL ARTICLE 2007.

**RAILWAY TIMETABLE STABILITY ANALYSIS USING MAX-PLUS SYSTEM THEORY**

Goverde (2007) analysoi juna-aikataulujen stabiiliutta max-plus-järjestelmäteorian avulla. Artikkelissa esitellään malli, jolla voidaan analysoida aikataulujen häiriösietoisuutta viiveiden ketjuuntumisilmiön suhteen. Kirjoittajan mukaan valittu lähestymistapa antaa mahdollisuuden analysoida reaaliaikaisesti laajoja jaksoitettuja aikatauluja. Väitettä vahvistetaan tapaustutkimuksella, jossa analysoidaan Alanko-

maiden rautatiejärjestelmän aikataulua ja todetaan, että esitellyllä mallilla voitaisiin merkittävästi kehittää stabiilien aikataulujen laatimista.

GRANSTRÖM. JOURNAL ARTICLE 2008.

**A SYSTEM AND STAKEHOLDER APPROACH FOR THE IDENTIFICATION OF CONDITION INFORMATION: A CASE STUDY FOR THE SWEDISH RAILWAY**

Täsmällisyydestä on myös tehty laajempaa, menetelmänä toteutettua tapaustutkimusta. Tästä on esimerkkinä Granströmin (2008) Ruotsissa toteuttama tutkimus.

FLYVBJERG

Kirjallisuudessa viitattiin myös liikennealan tutkimusta ja tapaustutkimusta tehneeseen Bent Flyvbjergiin, jonka julkaisuissa käsitellään muun muassa rautatieinvestointihankkeita sekä tapaustutkimusta tutkimusmenetelmänä. Hänen artikkeleitaan ei ole mukana itse kirjallisuusselvityksessä, sillä niissä ei tarkasteltu täsmällisyyttä, mutta liikennealan tapaustutkimuksen kannalta ne ovat mainitsemisen arvoisia.

### **6.7.3 Yhteenveto ja johtopäätökset**

Todellisten, konkreettisten tapausten korostuminen rautatieliikenteen täsmällisyystutkimuksessa kuvaa osaltaan sitä, kuinka käytännönläheistä rautatieliikenteen tutkimus on. Todellisten tapauksien hyödyntämisellä ei ole ainoastaan todistettu, että kehitetty malli tai algoritmi on validi, vaan myös esitetty, että sitä voidaan tai on jo sovellettu käytäntöön.

Tässä kirjallisuuskatsauksessa on tarkasteltu vain tieteellisiä julkaisuja, mutta tapaustutkimuksen laajan hyödyntämisen kautta saadaan myös viitteitä alan käytännönläheisemmästä tutkimuksesta ja kehityshankkeista.



## 7 TÄSMÄLLISYYSTUTKIMUKSEN NÄKÖKULMAT VIIVEISIIN JA MYÖHÄSTYMISIIN

### 7.1 Näkökulma viiveisiin ja myöhästymisiin -teemaryhmän tutkimus

Täsmällisyyteen – tarkemmin sanottuna epätäsmällisyyteen – liittyy kiinteästi viiveen käsite. Junaliikenne on sitä epätäsmällisempää, mitä enemmän se poikkeaa annetusta aikataulusta. Useimmiten nämä poikkeamat ovat sellaisia, joissa juna jää aikataulustaan jälkeen. Puhutaan viiveistä ja myöhästymisistä. Etuajassa liikennöinti on harvinaisempaa, eikä se myöskään vaikuta täsmällisyyteen yhtä voimakkaasti kuin myöhästymiset, sillä matkan aikana nopeutta voidaan aina vähentää aikataulun saavuttamiseksi. Voidaankin todeta, että täsmällisyystudkimuksen yhteydessä käsitellään aina jollakin tasolla myös viiveitä.

Tässä luvussa esitellään sellaisia täsmällisyystudkimuksia, joissa liikennöinnin viiveet on nostettu keskeiseksi tarkastelukohteeksi. Käytännössä tämä tarkoittaa julkaisuja, joissa viiveet muodostavat tärkeimmän osan joko tutkimusasetelmasta tai -tuloksista.

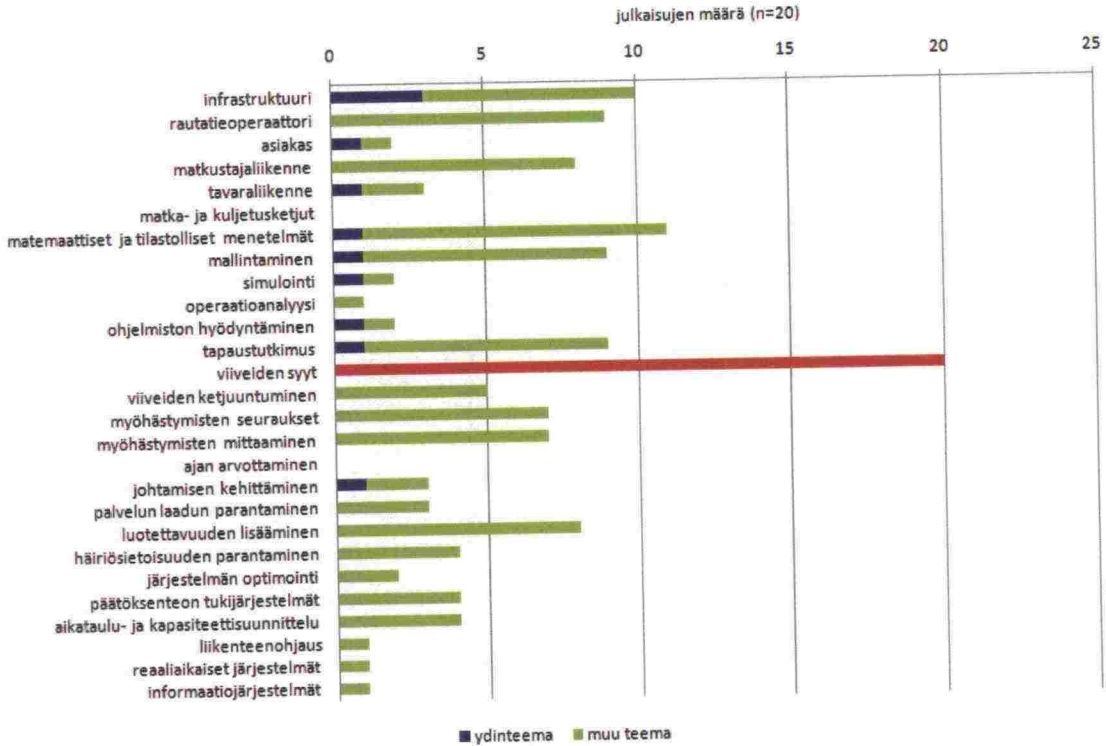
Luku on jaettu viiteen alalukuun. Jako on tehty sen perusteella, mistä näkökulmasta viiveitä tarkastellaan. Luvussa 7.2 tarkastelun kohteena ovat viiveiden syyt, luvussa 7.3 viiveiden ketjuuntuminen ja luvussa 7.4 myöhästymisten seuraukset. Luvussa 7.5 puolestaan paneudutaan myöhästymisten mittaamiseen ja luvussa 7.6 niistä aiheutuneiden aikamenetysten arvottamiseen.

### 7.2 Viiveiden syyt

Kun tutkimuksen kohteena ovat täsmällisyyttä heikentävät viiveet, on tyypillistä, että vähintään niiden syyt esitellään. Tähän lukuun on valittu ne tutkimukset, joissa viiveiden syyt ovat merkittävässä roolissa. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi tietyn viiveen syyn määrittämistä, eri syiden yleisyyksien tarkastelua ja vaikutusten vertailua tai tunnistettujen syiden poistamista viiveiden vähentämiseksi.

Luvussa tarkastellaan primääri- eli alkuperäisiä viiveitä syineen. Näitä syitä voivat olla esimerkiksi tekniset ongelmat, aikataulua hitaampi ajonopeus, matkustajien pitkittynyt vaunustapoistumis- tai vaunuunnousuaika tai huonot sääolot (Yuan & Hansen 2007). Luvun nimi voisikin olla *primääriviiveet ja niiden syyt*. Sekundaarisia viiveitä, eli viiveitä, jotka aiheutuvat muista junista, tarkastellaan seuraavassa luvussa, 7.3 Viiveiden ketjuuntuminen.

Kirjallisuuskatsaukseen sisältyy 83 julkaisua, joissa on tarkasteltu jollain tapaa viiveiden syitä. Näistä julkaisuista 20:ssä asiaa on lähestytty pääasiassa viiveiden syiden näkökulmasta. Kuvassa 7.1 on esitetty näissä 20 julkaisussa esiintyvät muut teemat.



Kuva 7.1 Ydinteeman VIIVEIDEN SYYT kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat.

Kuvasta 7.1 havaitaan, että viiveiden syyt liittyvät erityisesti infrastruktuuriin sekä operaattoriin. Viiveiden syitä tarkastelevassa tutkimuksessa käytetään kirjallisuuden perusteella mallintamista sekä matemaattisia ja tilastollisia menetelmiä, ja asiaa on tarkasteltu usein myös tapaustutkimuksen avulla.

Raportin liitteenä on luettelo viiveiden syyt -teemaa käsittelevistä julkaisuista. Mukana on 57 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus).

Viiveiden syitä käsitteleviä artikkeleita nousi esille suhteellisen paljon. Seuraavassa esitellään laajemmin kuusi artikkelia ja lisäksi suppeammin useita julkaisuja.

### 7.2.1 Junan täsmällisyyteen vaikuttavat seikat

OLSSON & HAUGLAND. JOURNAL ARTICLE 2004.

#### INFLUENCING FACTORS ON TRAIN PUNCTUALITY – RESULTS FROM SOME NORWEGIAN STUDIES

Olssonin ja Hauglandin (2004) artikkeli sopii sekä katsaukseen että käsiteltävään teemaan täydellisesti. Se käsittelee junaliikenteen täsmällisyyden käsitettä, täsmällisyyteen vaikuttavia tekijöitä ja joitakin strategioita täsmällisyyden parantamiseksi. Työssä luodaan yleiskatsaus keskeisiin tekijöihin, joihin tulisi kiinnittää huomiota parannettaessa täsmällisyyttä. Lähtökohtana ovat Norjassa tehtyjen tutkimusten empiiriset tulokset.



Artikkelin mukaan monissa yhteyksissä on arvioitu, että kapasiteetin korkea käyttöaste heikentää täsmällisyyttä. Oslon seudulla tehtyjen tutkimusten perusteella kapasiteetin käyttöaste ei kuitenkaan yksin selitä täsmällisyyden vaihteluja vuorokausitasolla. Tutkimuksessa analysoidaan seuraavia täsmällisyyteen vaikuttavia tekijöitä:

- matkustajamäärä (*number of passengers*)
- kuormitusaste (*occupancy ratio, passengers/seats*)
- ratakapasiteetin käyttöaste (*infrastructure capacity utilization*)
- perutut junat (*cancellations*)
- tilapäiset nopeusrajoitukset (*temporary speed reductions*)
- ratatyöt (*railway construction work*)
- junien lähtö- ja saapumistäsmällisyys (*departure and arrival punctuality*)
- liikenteenohjauksen etusijajärjestys (*operational priority rules*).

Artikkelissa käsitellään myös keinoja parantaa täsmällisyyttä priorisoimalla joko aikataulujen tiukkuutta tai aikataulujen joustonvaraa (*slack strategies*). Täsmällisyyteen vaikuttavien tekijöiden tulevaisuuden tutkimuskohteeksi ehdotetaan täsmällisyyden ennustemallin kehittämistä.

Työssä nostetaan esiin matkustajamäärä täydentävänä selittävänä tekijänä. Tekijöiden mielestä tämä ja aiemmat tutkimukset osoittavat, että täsmällisyyttä parantavia tuloksia voidaan lähi- ja paikallisliikenteessä saavuttaa kiinnittämällä huomiota junaan nousemisen ja junasta poistumisen hallintaan. Yksiraiteisilla rataosilla, kuten kaukoliikenteessä ja ei-ruuhkaisessa alueellisessa liikenteessä, keskeisintä vaikuttaisi olevan panostaminen junakohtaamisten hallintaan.

Artikkelissa määritellään kattavasti seuraavat termit:

- täsmällisyys (*punctuality*)
- viive (*delay*)
- primääri viive (*primary delay, exogenous delay*)
- sekundääri viive (*secondary delay, consecutive delay, reactionary delay, knock-on delay*)
- (epä)luotettavuus (*(un)reliability*)
- vaihtelevuus (*variability*)
- liikennöintivarmuus (*regularity*)
- Public Performance Measurement (PPM)

Artikkelissa on viitattu muun muassa seuraaviin täsmällisyyttä käsitteleviin julkaisuihin:

- BOB Railway Case. 2003. Benchmarking passenger transport in railways. NEA Transport Research And Training, Rijswijk, The Netherlands.
- Carey, M. 1998. Optimizing scheduled times, allowing for behavioural response. *Transportation Research Part B*, Vol. 32, Issue 5, p. 329–342. (Carey 1998)
- Gibson, S. & Cooper, G. & Ball, B. 2002. The evolution of capacity charges on the UK rail network. *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 36, Issue 2, p. 341–354.

- Rudnicki, A. 1997. Measures of regularity and punctuality in public transport operation. Transportation systems, preprints of the Eighth International Federation of Automatic Control 2.
- Skagestad, R. 2004. Kritiske prestasjonsindikatorer i jernbanedrift. Master thesis. Department of Production and Quality Engineering, the Norwegian University of Science and Technology.
- Veiseth, M. 2002. Punktlighet i jernbanedrift. Master thesis. Department of Production and Quality Engineering, the Norwegian University of Science and Technology, Norway.

### 7.2.2 Lähiliikenteen luotettavuus: täsmällisyys ja viiveiden syyt

NELSON & O'NEIL. JOURNAL ARTICLE 2000.

#### COMMUTER RAIL SERVICE RELIABILITY: ON-TIME PERFORMANCE AND CAUSES FOR DELAYS

Olssonin tapaan Nelson ja O'Neil (2000) tarkastelevat täsmällisyyttä ja viiveiden syitä lähiliikenteen näkökulmasta. Artikkelin mukaan palvelun luotettavuus on yksi lähiliikenteen laatutason avainmittareista (KPI). Kaikki yhdysvaltalaiset operaattorit tilastoivat päivittäin täsmällisyyttään ja julkaisevat säännöllisesti raportteja täsmällisyydestä. Useimmat operaattorit kirjaavat ylös myös viiveiden syyt, mutta näitä tietoja ei julkaista kovinkaan laajasti. Tiedot epäluotettavan palvelun syistä olisivat kuitenkin tärkeitä lähiliikenteen suunnittelijoille ja operaattoreille, niiden pyrkiessä parantamaan nykyisten ja uusien palveluiden luotettavuutta.

Artikkelissa esitellään kuuden maantieteellisesti erilaisen yhdysvaltalaisalueen lähiliikennejärjestelmän viiveiden esiintymismallit ja syyt. Tavoitteena on tuottaa tietoa, jonka avulla on mahdollista luoda yleiset parametrit viiveiden sille. Artikkelissa esitetään vaihtelut palvelun luotettavuudessa sekä viikonpäivittäin että vuorokaudenajoittain, ja lyhyiden ja pitkien linjojen luotettavuuksia vertaillaan keskenään. Lisäksi analysoidaan ja vertaillaan erilaisia viiveiden syitä, kuten kalustovaurioita, suunniteltuja ratatöitä, henkilöstöongelmia, matkustajista johtuvia viivästyksiä, säätä ja syiden ketjuuntumista. Artikkelin mukaan tietoja voidaan käyttää arvioitaessa uusien palveluiden täsmällisyyttä ja siihen liittyviä tekijöitä. Lisäksi niitä voidaan käyttää vertailtaessa olemassa olevien palveluiden laatutasoja keskenään.

Kyseessä on laadukkaanoloinen journal-artikkeli, joskaan tekijät eivät näytä julkaisseensa muita tieteellisiä artikkeleita. Valitettavasti saatavilla ei ollut julkaisun kokotekstiä, joten tämä analyysi on tehty tiivistelmän perusteella.

### 7.2.3 Infrastruktuurin vaikutus täsmällisyyteen

VEISETH & OLSSON & SAETERMO. CONFERENCE PROCEEDINGS 2007.

#### INFRASTRUCTURE'S INFLUENCE ON RAIL PUNCTUALITY

Veiseth et al. (2007) tarkastelevat, kuinka infrastruktuuriin ja liikennöintiin liittyvää dataa yhdistämällä voidaan analysoida viiveiden primäärisyyttä sekä arvioida viiveitä aiheuttavien onnettomuuksien vaikutuksia. Näin saatavaa tietoa voidaan hyödyntää priorisoitaessa rataverkon kehitys- ja ylläpitotoimia sekä määriteltäessä tehtyjen toimenpiteiden vaikutuksia.



Tutkimuksessa on analysoitu ja vertailtu dataa, joka on peräisin Norjan rautatiejärjestelmän kahdesta infrastruktuuriin ja yhdestä täsmällisyyteen liittyvästä tietokannasta. Julkaisussa todetaan, että vaikka teoriassa ja teknisessä mielessä tietokantojen yhteen liittäminen pitäisi olla toteutettavissa, osoittautui se käytännössä haastavaksi, eikä siinä kokonaan onnistuttu. Tutkimuksessa suositellaankin, että kaikkiin kolmeen tietokantaan kehitettäisiin yleinen koodausjärjestelmä, jolla tiedot voitaisiin tulevaisuudessa linkittää automaattisesti yhteen.

Kyseessä on melko kevyt konferenssijulkaisu, eikä tekijöiltä löytynyt muita aiheeseen liittyviä julkaisuja. Ainakaan nämä henkilöt eivät siis ole tutkineet aihetta läpikotaisin. Sisältönsä perusteella julkaisu voitaisiin sijoittaa myös infrastruktuuri-teemaan. Julkaisun lähdeluettelossa ovat muun muassa seuraavat täsmällisyyttä käsittelevät julkaisut:

- Veiseth M. & Bititci U.S. 2005. Performance measurement in railway operations – improvement of punctuality and reliability. Proceedings of the 5th International Conference on Performance measurement and management, p. 801–808. Cranfield University, Stirling, UK.
- Veiseth, M. 2002. Punctuality in railway operations, Master thesis. Department of production and quality engineering, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norway.
- Noland, R.B. & Polak, J. 2002. Travel time variability: a review of theoretical and empirical issues, Transport Reviews, Vol. 22, Issue 1, p. 39–45. (Noland & Polak 2002)
- Rudnicki, A. 1997. Measures of regularity and punctuality in public transport operation, Proceedings of the IFAC symposium 1997, Chania, Greece.

#### **7.2.4 Sään ja ilmaston vaikutusten lieventäminen Britannian rautatieliikennejärjestelmässä**

THORNES & DAVIS. CONFERENCE PROCEEDINGS 2002.

##### **MITIGATING THE IMPACT OF WEATHER AND CLIMATE ON RAILWAY OPERATIONS IN THE UK**

Thornesin ja Davisin (2002) mukaan Britannian rautatieliikenteen suunnittelemissa viiveistä jopa 20 prosenttia johtuu sää- ja ilmastotekijöistä. Tästä huolimatta maassa on tehty vain vähän tutkimusta, jonka tavoitteena olisi näiden syiden määrittäminen ja strategiat, joilla niiden vaikutuksia voisi lieventää.

Julkaisussa tarkastellaan erilaisten sää- ja ilmastotekijöiden vaikutuksia, niiden tunnistamisen herkkyys- ja kynnysarvoja sekä olemassa olevia sääennustetekniikoita. Julkaisussa suositellaan, että rautatiealalle sovellettaisiin Britanniassa tehtyä laajaa kehitystyötä tieliikenteeseen liittyvän sään ennustamisessa. Lisäksi siinä esitellään alustavia tuloksia, jotka liittyvät johtimien jäätymisen mittaukseen ja ennakointiin sekä tuulenpuuskista hälyttävän järjestelmän käyttöönottoon.

Kyseessä on melko kevyt konferenssijulkaisu. Thornes on tehnyt paljon säähän liittyvää tutkimusta, mutta julkaisun perusteella ei ole havaittavissa erikoistumista rautatieliikennejärjestelmään.

### 7.2.5 Aseman pituuden ja asemien välisten etäisyyksien vaikutus viiveisiin

LINDFELDT. CONFERENCE PROCEEDINGS 2006.

#### INFLUENCES OF STATION LENGTH AND INTER-STATION DISTANCE ON DELAYS AND DELAY PROPAGATION ON SINGLE-TRACK LINES WITH REGIONAL RAIL TRAFFIC

Lindfeldtin (2006) mukaan yksiraiteisissa järjestelmissä kaksisuuntainen junaliikenne kärsii kohtaamisista seuraavasta aikahävikistä. Tämä hävikki johtuu infrastruktuurin rajoitteiden lisäksi kohtaamisten stokastisesta luonteesta, joka aiheuttaa vaihtelua siihen, kuinka viiveet ketjuuntuvat. Tutkimuksessa tarkastellaan kahta esimerkkiä, kuinka infrastruktuuria voidaan kehittää siten, että aikahävikki pienenee. Ensimmäisessä pidennetään kohtaamisasemien raiteiden pituutta, jälkimmäisessä pienennetään kohtaamispaikkojen välistä etäisyyttä. Näiden parannusten arviointiin käytetään matemaattista mallia. Tutkimuksen perusteella pidemmät asemaraiteet näyttävät tehostavan liikennettä merkittävästi, kun liikennetiheys ja viiveiden jakaumat ovat kohtuullisen pieniä. Lyhyempien kohtaamisvälien vaikutukset eivät ole niin suuria, mutta ne pienentävät viiveiden jakaumiin liittyvää häiriöherkkyyttä ja antavat lisää arvokasta raidekapasiteettia.

Tutkimuksessa käytetty malli olettaa, että kohtaavat ja risteävät junat ovat toisistaan riippumattomia, mikä pitää paikkansa vain, kun verkon käyttöaste on pieni. Niinpä ruuhkaisempia järjestelmiä tarkasteltaessa tarvitaan Lindfeldtin (2006) mukaan simulointimenetelmiä, joilla voidaan luoda kompleksisia kohtaamis- ja risteämismalleja.

Kyseessä on laadukkaan oloinen konferenssiartikkeli, joka on julkaistu *WIT Transactions on the Built Environment* -lehdessä. Tutkimuksessa tarkastelun kohteena on viiveiden ketjuuntuminen, joten sitä voitaisiin käsitellä myös luvussa 7.3 Viiveiden ketjuuntuminen. Julkaisu kuitenkin sijoitettiin tähän lukuun, sillä sen huomio on ennen kaikkea siinä, miten asemaraiteiden pituus ja asemien väliset etäisyydet vaikuttavat viiveiden syntyyn, toisin sanoen ne nähdään *syynä* viiveille. Sisältönsä perusteella julkaisu voitaisiin sijoittaa myös lukuun 5.2 Infrastruktuuri.

Artikkelissa viitataan muun muassa seuraavaan julkaisuun:

- Mattsson, L-G. 2005. Ways of deriving train delay relationships. Proceeding from the 1st International seminar on railway operations modelling and analysis, Delft, 2005.

### 7.2.6 Reittikonfliktien ja niiden seurausten automaattinen tunnistaminen

GOVERDE & DAAMEN & HANSEN. CONFERENCE PROCEEDINGS 2008.

#### AUTOMATIC IDENTIFICATION OF ROUTE CONFLICT OCCURRENCES AND THEIR CONSEQUENCES

Goverden et al. (2008) mukaan infrastruktuurin ylläpitäjien ja rautatieoperaattoreiden erittäin tärkeä tietää, mistä viiveet johtuvat. On kuitenkin hyvin vaikea osoittaa tietylle viiveelle sen aiheuttaneet syyt. Varsinaisia asemille saapumisiin liittyviä myöhästymisiä tarkkaillaan reaaliaikaisesti hyödyntäen junien ajotietokoneita ja aikataulutietokantoja. Tällöin ei kuitenkaan tiedetä, johtuuko viive junasta itsestään vai siitä, että se on reittikonfliktin vuoksi joutunut odottamaan matkan aikana. Eritoten jälkimmäisien



tapauksien tunnistaminen jälkikäteen on hyvin vaikeaa, vaikka juuri ne tarjoaisivat ratkaisevan tärkeää tietoa kapasiteetin käyttöä optimoitaessa.

Tutkimus esittelee *TNV-Conflict*-työkalun, joka tunnistaa automaattisesti kaikki kirjatut reittikonfliktit kriittisine rataosuuksineen ja mukana olleine junineen. Työkalua käytetään offline-tilassa hyödyntäen liikenteenohjauksen lokitiedostoja, jotka sisältävät infrastruktuuriin ja junan liikkeisiin liittyvät sanomat kronologisessa järjestyksessä. Oliopohjainen lähestymistapa tosin ennakoii myös online-sovellusta, joka perustuisi reaaliaikaisiin sanomiin. Tulostietojen avulla määritellään reittikonfliktien määrä ja niiden vaikutus kapasiteetin käyttöön ja täsmällisyyteen. Tavoitteena on kohdistaa seurannaisviiveet oikeudenmukaisesti niille junille, joiden primääriviiveistä ne johtuvat. Lisäksi tietojen avulla pyritään tunnistamaan rakenteellisia reittikonflikteja, jotka johtuvat aikataulusuunnittelun epäkohdista. Tällaisia epäkohtia voivat olla esimerkiksi liian pienet vuorovälit, pullonkaulojen huomiotta jättäminen tai liian suuri pelivara, joiden vuoksi juna kulkee etuajassa. Artikkelin mukaan *TNV-Conflict* tarjoaa oleellista tietoa kapasiteetin käytön kehittämiseen ja luotettavien junavuorojen muodostamiseen. Työkalun mahdollisuuksia havainnollistetaan esimerkksiovelluksella Alankomaista.

Kyseessä on laadukas konferenssiartikkeli, joka on esitelty COMPRAIL 2008 -konferenssissa. Saatavilla ei ollut julkaisun kokotekstiä, joten tämä analyysi on tehty tiivistelmän perusteella. Sisältönsä perusteella julkaisu olisi voitu sijoittaa myös *ohjelmiston hyödyntäminen* tai *viiveiden ketjuuntuminen* -lukuihin. Tämä luku valittiin siksi, että tutkimuksessa pyritään ennen kaikkea kohdistamaan kullekin viiveelle sen todellinen syy.

### 7.2.7 Viiveiden syitä käsitteleviä muita julkaisuja

GIANNOPOULOS. MAGAZINE ARTICLE 1985.

#### TRAVEL TIME AND DELAY FACTORS ON GREEK RAILWAYS: AN ANALYSIS OF THE EXISTING SITUATION AND PROPOSALS FOR SHORT-TERM IMPROVEMENTS

Giannopoulosin (1985) tarkastelun kohteena ovat sekä matkustaja- että tavaraliikenteessä tapahtuvat viiveet Kreikan rautateillä. Tilastollisen analyysin avulla tarkastellaan viiveiden esiintyvyyksiä ja ne luokitellaan syiden mukaan. Tämän jälkeen tietyt viiveiden syyt otetaan tarkempaan tarkasteluun. Nykytilanteen analyysin perusteella esille nostetaan lyhyen aikavälin keinoja viiveiden vähentämiseksi ja toiminnan kehittämiseksi. Kyseessä on artikkeli vuodelta 1985, eikä tekijä ole sen jälkeen julkaissut aiheeseen liittyviä julkaisuja.

NASH & WEIDMANN & BOLLINGER & LUETHI & BUCHMUELLER. JOURNAL ARTICLE 2006.

#### INCREASING SCHEDULE RELIABILITY ON THE S-BAHN IN ZURICH, SWITZERLAND COMPUTER ANALYSIS AND SIMULATION

Nash et al. (2006) kuvaavat tutkimusta, jonka tavoitteena on tunnistaa viiveiden syyt ja kehittää erilaisia toimenpiteitä viiveiden pienentämiseen. Artikkelissa arvioidaan toimenpidevaihtoehtoja ja tehdään tämän arvioinnin pohjalta suosituksia paikallisliikenteen aikataulurakenteeseen Sveitsissä Zürichin alueella. Useat toimenpidehdotuksista otettiin käyttöön vuoden 2004 aikataulu-uudistuksen yhteydessä.

SAGARELI. CONFERENCE PROCEEDINGS 2004.

# **TRACTION POWER SYSTEMS RELIABILITY CONCEPTS**

Sagareli (2004) analysoi eri vetovoimanjakelujärjestelmien luotettavuutta. Luotettavuutta arvioidaan sen perusteella, millaisia viiveitä sähkönjakelun keskeytykset ovat aiheuttaneet junaliikenteelle. Mielenkiintoista on, että aiheutuneita viiveitä tarkastellaan myös niiden suhteellisten vaikutusten perusteella, esimerkiksi kuinka monta myöhästymisminuuttia ne ovat aiheuttaneet yhtä matkustajan matkustamaa mailia kohti. Julkaisussa esiintyneet lähteet liittyivät pääasiassa sähkönjakeluun.

KIKUCHI. JOURNAL ARTICLE 1983.

# **SNOW COUNTERMEASURES OF THE TOHOKU & JOETSU SHINKANSEN LINES**

Kikuchi (1983) esittelee kahden vuonna 1982 avatun Shinkansen-reitin, Joetsun ja Tohokun, lumentorjumismenetelmiä, jotka on mukautettu reittien sääolojen mukaan. Joetsulla infrastruktuuri ja kalusto on varustettu voimakkaita lumisateita ja märkää lunta vastaan sen kulkiessa rosoisessa vuoristossa, Tohokulla puolestaan matalia lämpötiloja ja puuterilunta vastaan sen kulkiessa maan pohjoisosiin. Menetelmiin lukeutuvat muun muassa lumelle varatut tilat raiteiden alla ja laitteet, jotka sulattavat lumen vesisuihkun avulla. Menetelmät vaikuttavat tehokkailta, sillä keskimääräinen myöhästymisen talvi-kuukausina oli vain 12 sekuntia, koko vuoden keskiarvo ollessa 9 sekuntia. Kyseessä on artikkeli vuodelta 1983, eikä tekijä ole sen jälkeen julkaissut aiheeseen liittyviä julkaisuja.

SPIESS. JOURNAL ARTICLE 2005.

# **LEAVES ON THE TRACK - SOLUTIONS FOR THE AUTUMN PROBLEM USING A SYSTEM APPROACH**

Spiessin (2005) mukaan Keski- ja Pohjois-Euroopassa rautateiden jokasyksyisenä ongelmana on kitkan vähäisyys. Tämä johtuu puiden lehdistä, jotka kasaantuvat radalle ja muodostavat kiskon pinnalle hankalasti poistettavan kalvon, joka on kostealla ilmalla erittäin liukas. Tästä syystä erityisesti keveiden junien kiihdytys- ja jarrutuskyky heikentyy, mikä näkyy täsmällisyyden heikkenemisenä. Artikkelissa Saksan rautatiejärjestelmää tarkastellaan systeemimallinnuksen keinoin, yhteistyössä Saksan rautateiden toimijoiden kanssa. Tuloksena esitellään erilaisia teknologiaan, infrastruktuuriin ja liikennöintiin liittyviä keinoja, joilla ongelmaa voidaan merkittävästi pienentää. Kyseessä on ZEV Rail Glasers Annalen -lehdessä julkaistu artikkeli, jonka kokoteksti ei ollut käytettävissä. Tekijältä ei löytynyt muita julkaisuja.

LAM & CHEUNG & LAM. JOURNAL ARTICLE 1999.

# **A STUDY OF CROWDING EFFECTS AT THE HONG KONG LIGHT RAIL TRANSIT STATIONS**

Lam et al. (1999) ovat tutkineet, mitkä ovat oleellisia tekijöitä asemien ruuhkautumiseen liittyen Hongkongin pikaraitiotiejärjestelmässä. Käytetty data on kerätty kahdelta eri asemalta. Aluksi on selvitetty, mikä yhteys on laiturien ruuhkautumisella ja junien pysähtymisajalla, sekä on luotu pysähtymisajoille regressiomallit. Lisäksi on tutkittu, kuinka laitureiden ja junien ruuhkautumisen taso vaikuttaa palvelun laatuun. Tekijöiden mukaan tutkimuksen tuloksia voidaan käyttää laitureiden ja asemien suunnitteluun siten, että ruuhkautumiset vaikutukset täsmällisyyteen ja palvelun laatuun saataisiin nykyistä pienemmiksi.



FARAROORY. CONFERENCE PROCEEDINGS 2001.

**REDUCING DELAYS AT LONDON UNDERGROUND JUNCTIONS AND TERMINI**

Fararoory (2001) esittelee tutkimustuloksia, joilla pyritään vähentämään Lontoon metron viiveitä sekä lyhyellä että pitkällä tähtäimellä. Viiveiden syyt luokitellaan liikenteenohjaukseen, henkilökunnan työvuoroihin ja junien pitkittyneisiin pysähtymisaikoihin. Näkökulma on vahvasti johtamisessa, joten artikkeli oltaisi voitu käsitellä myös luvussa 8.2 Johtamisen kehittäminen.

GUARNIERI. MAGAZINE ARTICLE 1980.

**RAILWAY OPERATION: THE PASSENGER SERVICE WITH PARTICULAR REFERENCE TO THE PROBLEMS OF THE RAILWAY CENTER OF MILAN**

Guarnieri (1980) esittelee artikkelissaan tilastollisia huomioita lähi- ja kaukoliikenteen liikennöinnistä Milanon alueella vuonna 1979. Tuloksista käyvät ilmi keskimääräiset viiveet ja niiden syyt. Tekijän mukaan tuloksia voidaan käyttää järjestelmää kehitettäessä.

HIGGINS & KOZAN & FERREIRA. JOURNAL ARTICLE 1995.

**MODELLING DELAY RISKS ASSOCIATED WITH TRAIN SCHEDULES**

Higgins et al. (1995) mallintavat yksittäisiin rataosuuksiin, juniin ja koko aikatauluun liittyvien viiveiden riskejä. Viiveiden syyt jaetaan kolmeen osaan; asemiin, rataan ja kalustoon. Malleja voidaan hyödyntää, kun priorisoidaan investointeja, jotka liittyvät näiden syiden poistamiseen. Artikkelia on käsitelty tarkemmin luvussa 6.3 Mallintaminen.

GORMAN. JOURNAL ARTICLE 2009.

**STATISTICAL ESTIMATION OF RAILROAD CONGESTION DELAY**

Gorman (2009) on tutkinut tavaraliikenteen ruuhkaantumisten syitä ekonometrisin metodein tilastollisen datan avulla. Tärkeimmiksi myöhästymissyiksi osoittautuivat risteämiset ja ohitukset. Artikkelia on käsitelty myös luvussa 5.6 Tavaraliikenne.

LINDFELDT. CONFERENCE PROCEEDINGS 2008.

**EVALUATION OF PUNCTUALITY ON A HEAVILY UTILISED RAILWAY LINE WITH MIXED TRAFFIC**

Lindfeldt (2008) on tutkinut simuloinnin avulla ruotsalaisen sekaliikennerrataosuuden ruuhkaantumisen primäärisyyttä. Syyt osoittautuvat erittäin monimuotoisiksi. Artikkelia on käsitelty tarkemmin luvussa 6.4 Simulointi.

SALERNO & COSTALLI & GUIDA. MAGAZINE ARTICLE 2008.

**A NEW METHOD FOR DELAY ANALYSIS AND "PERFORMANCE REGIME" EVALUATION**

Salerno et al. (2008) esittelevät uuden menetelmän viiveiden analysointiin ja sen avulla tapahtuvaan suorituskvyn johtamiseen. Menetelmän avulla viiveet ja niistä aiheutuvat seuraukset voidaan kohdistaa oikealle taholle. Artikkelia on käsitelty tarkemmin luvussa 8.2 Johtamisen kehittäminen.

### 7.2.8 Yhteenveto ja johtopäätökset

Katsauksen perusteella vaikuttaa siltä, että viiveiden syitä ja niihin liittyviä asioita on tutkittu melko monipuolisesti. Tutkittujen asioiden joukossa on niin viiveiden syiden määrittämistä ja vertailua, yksittäisten syiden perusteellista tarkastelua kuin syiden poistamista viiveiden vähentämiseksi. Tämä ei sinänsä ole yllätys: täsmällisyyttä käsiteltäessä viiveet ovat käytännössä aina esillä, ja samalla myös niiden syyt.

Mitä teemaan liittyen sitten tulisi jatkossa tutkia? Aihe on täsmällisyyden kannalta niin oleellinen, että pelkästään jo tehtyjen tutkimusten ja niiden tuloksien soveltaminen ja testaaminen eri järjestelmissä olisi hyödyllistä. Todellista uutuusarvoa puolestaan voisi saavuttaa tutkimuksella, joka vastaisi joihinkin seuraavista kysymyksistä:

- Kuinka viiveille voitaisiin kohdistaa syyt mahdollisimman luotettavasti ja automaattisesti?
- Miten viivesyiden joukosta voitaisiin tunnistaa kaikkein merkityksellisimmät, toisin sanoen mistä syistä aiheutuu eniten vakavia viiveitä?
- Kuinka viiveistä aiheutuneet kustannukset tulisi langettaa tahoille, jotka ovat vastuussa viiveiden syistä?

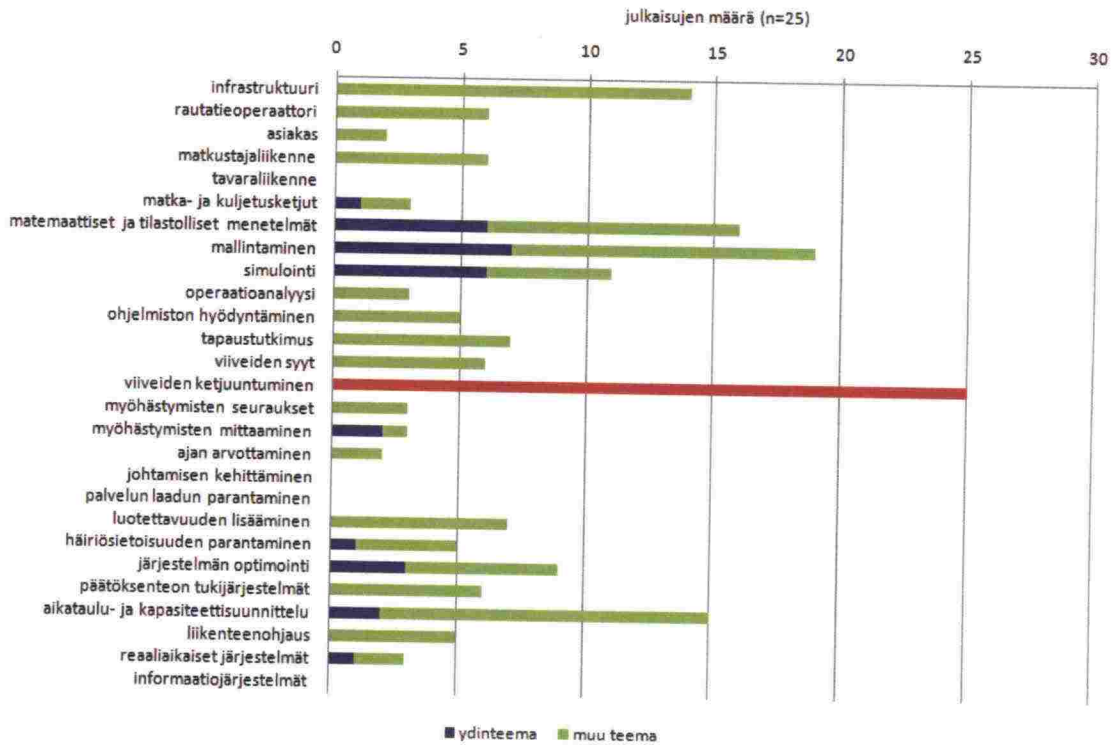
### 7.3 Viiveiden ketjuuntuminen

Yhden junan viivästyminen voi estää myös muiden junien aikataulunmukaisen liikenteen varaamalla niiltä tietyn rataosuuden, laiturin tai risteyksen. Myös esimerkiksi vaihtoyhteyksien säilyttäminen voi johtaa alkuperäisen junan viivästymisen lisäksi myös muiden junien myöhästymiseen. Tällaisia muille junille aiheutuvia viiveitä kutsutaan ketjuuntuneiksi tai sekundäärisiksi viiveiksi (esim. *knock-on delays*, *consecutive delays*, *secondary delays*) (Yuan & Hansen 2007) ja ilmiötä tässä kirjallisuuskatsauksessa yleisesti viiveiden ketjuuntumiseksi.

Tässä luvussa tarkastellaan julkaisuja, joissa huomion keskipisteenä ovat sekundääriset viiveet. Tutkimus voi liittyä esimerkiksi niiden tunnistamiseen, niihin liittyvien muodostumismekanismien analysointiin tai niiden vähentämispyrkimyksiin. Sen sijaan viiveiden – sekä primääri- että sekundaariviiveiden – lopullisia, konkreettisia vaikutuksia asiakkaille, kuljetuksille tai järjestelmälle esimerkiksi taloudellisten tappioiden muodossa tarkastellaan luvussa 7.4 Myöhästymisten seuraukset.

Teemaan kuuluvia julkaisuja nousi esille lukuisia. Luvun alkupuolella on tarkasteltu laajemmin kahta erilaista kokonaisuutta, luvun loppupuolella puolestaan on esitelty suppeammin reilu kymmenen julkaisua. Yhteensä kirjallisuuskatsauksessa on mukana 25 julkaisua, joissa keskeisenä näkökulmana, ydinteemana, on viiveiden ketjuuntuminen. Näiden julkaisujen perusteella on piirretty kuva 7.2, jossa esitetään viiveiden ketjuuntumisen näkökulmasta tarkastelevassa tutkimuksessa esiintyviä muita näkökulmia.





Kuva 7.2 Ydinteeman VIIVEIDEN KETJUUNTUMINEN kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat.

Kuvasta 7.2 nähdään, että erilaiset menetelmät, kuten mallintaminen, simulointi sekä matemaattiset ja tilastolliset menetelmät, korostuvat viiveiden ketjuuntumisen tutkimuksessa. Myös aikataulu- ja kapasiteettitutkimusta tehdään viiveiden ketjuuntumisen yhteydessä.

Raportin liitteenä on luettelo viiveiden ketjuuntumisen -teemaa käsittelevistä julkaisuista. Mukana on 75 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus).

### 7.3.1 Delftin teknillisen yliopiston viiveiden ketjuuntumiseen liittyvä tutkimus

Delftin teknillisessä yliopistossa Alankomaissa on tehty erityisen paljon täsmällisyyteen liittyvää tutkimusta. Esille nousevat muun muassa nimet Yuan, Hansen, Goverde ja Daamen. Katsauksen perusteella yksi heidän painopistealueistaan on selvästi viiveiden ketjuuntuminen, sillä heiltä nousi teemaan useita eri artikkeleita. Seuraavaksi tarkastellaan laajasti näistä yhtä, Yuanin ja Hansenin yhteisartikkeliä, jonka aiheena on asemilla tapahtuvan viiveiden ketjuuntumisen ennakointi ja sen perusteella tehtävä kapasiteetin optimointi. Artikkelin tarkastelun jälkeen on esitelty suppeasti muutama muu kyseisen ryhmän tekemä julkaisu.

YUAN & HANSEN. JOURNAL ARTICLE 2007.

**OPTIMIZING CAPACITY UTILIZATION OF STATIONS BY ESTIMATING KNOCK-ON TRAIN DELAYS**

YUAN. CONFERENCE PROCEEDINGS 2007.

**DEALING WITH STOCHASTIC DEPENDENCE IN THE MODELING OF TRAIN DELAYS AND DELAY PROPAGATION**

HANSEN & YUAN. CONFERENCE PROCEEDINGS 2006.

**STOCHASTIC MODELING OF DELAY PROPAGATION AT RAILWAY STATIONS AND JUNCTIONS**

YUAN & GOVERDE & HANSEN. CONFERENCE PROCEEDINGS. 2002.

**PROPAGATION OF TRAIN DELAYS IN STATIONS**

Yuanin ja muiden (Yuan & Hansen 2007, Yuan 2007, Hansen & Yuan 2006, Yuan et al. 2002) mukaan aikataulutetussa junaliikenteessä joudutaan aina tekemään kompromisseja rataverkon kapasiteetin tehokkaan käytön ja liikennöinnin täsmällisyyden välillä. Junaliikenteen kysynnän kasvaessa rautatieinfrastruktuurista vastaavat tahot voivat joko lisätä kapasiteettia uusien raiteiden ja kehittyneempien opastinjärjestelmien avulla tai hyödyntää olemassa olevaa kapasiteettia nykyistä tehokkaammin. Kokemusten mukaan korkeampi käyttöaste kuitenkin vaikuttaa heikentävästi junaliikenteen laatuun, tarkemmin sanoen sen luotettavuuteen ja täsmällisyyteen, mitkä ovat tärkeitä tekijöitä sekä matkustajille että operaattoreille.

Kirjoittajien mukaan rataverkon solmuissa ja kaarissa satunnaisesti tapahtuvien häiriöiden vuoksi junien aikataulusuunnittelussa ei käytetä pienimpiä mahdollisia ajo-, pysähdys- ja vuoroväliaikoja, vaan niihin kaikkiin lisätään tietyt määrät ylimääraistää aikaa, jolloin pienien viiveiden vaikutus häviää. Näin aikataulujen häiriösietoisuus kasvaa, ja siten junaliikenteen luotettavuus ja täsmällisyys paranevat. Ongelma on, että tällainen suuri pelivara johtaa pitkiin matka-aikoihin, suuriin operointikustannuksiin ja tehottomaan kapasiteetin käyttöön. Näin ollen aikataulusuunnittelussa joudutaan aina tekemään kompromisseja käyttöasteen ja palvelun laadun, sekä samalla toiminnasta saatavien tulojen ja siitä aiheutuneiden kustannusten välillä.

Kapasiteetin käytön ja aikataulusuunnittelun optimointi edellyttää junaliikennöinnin luotettavuuden ja täsmällisyyden ennakoimista, joka voidaan tehdä junien viiveiden avulla. Junaliikennöinnin täsmällisyydennäköisyyden ennakoimiseksi sekä saapumis- että lähtemisviiveiden jakaumat tulee voida arvioida mahdollisimman realistisesti ottaen myös viiveiden ketjuuntumisen vaikutukset huomioon.

Junien viiveiden muodostumisen mallintaminen liittyy aina tiettyyn rata-layoutiin, opastin- kulunvalvontajärjestelmään sekä aikataulumalliin. Tutkittavan verkon rajapinnasta tulleiden ja sen sisällä muodostuneiden viiveiden perusteella voidaan määrittää jakaumat ketjuuntuneille viiveille niin saapuvien kuin lähtevienkin junien tapauksessa. Määrittämiseen käytetään viiveiden muodostumista mallintavaa stokastista mallia.

Kirjoittajien mukaan olemassa olevat erilaiset jonomallit ja muut analyttiset stokastiset mallit eivät sovellu kovin hyvin junaliikennöinnin täsmällisyyden ennakoointiin tietyllä rataverkolla ja aikataululla. Myöskään olemassa olevat mikrosimulointityökalut eivät heidän mukaansa sovellu optimaalisen liikennetiheyden ja pelivaran määrittämiseen sekä näiden allokointiin siten, että saavutetaan haluttu liikennöinnin luotettavuus-



täsmällisyystaso. Artikkelissa todetaan, että tarvitaan nykyistä sopivampi ja realistisempi analyttinen malli, jolla voidaan paremmin ennakoida toisiinsa vaikuttavien junien stokastista viiveiden muodostumista siten, että erityisesti viiveiden ketjuuntuminen otetaan huomioon. Kirjoittajien mukaan kaksiraiteisen rautatieverkon pullonkaulat sijaitsevat yleensä asemilla tai niiden ympärillä. Niinpä artikkeli esittelee uuden analyttisen stokastisen mallin, jolla voidaan ennakoida reittikonflikteista ja jatkoyhteyksien säilyttämisestä aiheutuvien viiveiden muodostumista nimenomaan laituriraiteilla ja risteyksissä.

Kirjoittajien malli ottaa realistisesti huomioon sekä opastinjärjestelmän rajoitteet että kulunvalvonnan säännöt. Erilaiset opasteet johtavat junan epätasaiseen nopeuteen, mikä puolestaan aiheuttaa stokastista vaihtelua radan varausajassa. Tätä on mallinnettu ehdollisten todennäköisyysjakaumien avulla. Yksittäisen junan lähtöaikaan puolestaan eivät vaikuta ainoastaan reittikonflikteista johtuvat viiveiden ketjuuntumiset, vaan huomioon otetaan myös liikenteenohjaajien käytännön ohjeistukset vaihtoyhteyksien vaihtomarginaaleihin liittyen. Sekundäärisestä myöhästymisestä kärsivä juna voi aiheuttaa viiveitä edelleen myös toisille junille, mitä kutsutaan dynaamiseksi viiveiden muodostumiseksi. Niiden arvioimiseksi esitetty malli hyödyntää rekursiivista substitutiivimetelmää.

Kirjoittajat esittelevät mallin kolmessa osassa. Ensin tarkastellaan saapuvalle junalle aiheutuvia sekundäärisiä viiveitä, sitten lähtevälle junalle aiheutuvia sekundäärisiä viiveitä ja lopuksi useasta syystä aiheutuvia ja dynaamisesti muodostuvia viiveitä. Matemaattisesta näkökulmasta tarkasteluna malli muodostetaan numeerisesti approksimoimalla Stieltjesin konvoluutiota yksilöllisistä ja riippumattomista jakaumista. Malli validoidaan empiirisellä datalla, joka on peräisin Den Haag HS -rautatieasemalta syyskuulta 1999. Validoinnin perusteella malli noudattaa hyvin todellisen maailman ilmiöitä.

Validoinnin jälkeen mallia hyödynnetään em. aseman kapasiteetin käytön optimoinnissa. Asemalle ovat ominaisia erilaiset tasoristeykset sekä yhdistyvät ja eroavat raiteet. Mallin avulla määritetään suurin mahdollinen frekvenssi, jolla junia voi kulkea kriittisen tasoristeyksen ohi siten, että sekundaariset myöhästymiset eivät ylitä annettua arvoa tietyllä luottamusvälillä. Case-kohteen optimoinnin lisäksi tutkimuksessa osoitetaan, että kun junien välinen aikataulutettu pelivara tasoristeyksen kohdalla pienenee, keskimääräinen sekundäärinen myöhästymisaika kasvaa eksponentiaalisesti.

Kirjoittajien mukaan malli voidaan yhdistää osaksi suurempaa aikataulusuunnitteluun ja liikenteenohjaukseen tarkoitettua automatisoitua päätöksentekotyökalua. On kuitenkin huomioitava, että mallissa on yksinkertaistettu monia asioita eikä se esimerkiksi ota huomioon liian aikaisin saapuvien junien vaikutusta. Lisäksi se tarkastelee kerrallaan vain yhtä laituria tai risteystä. Artikkelissa todetaankin, että jatkossa tulisi tutkia tarkemmin koko asema-alueen viiveiden muodostumista ottaen huomioon dynaaminen viiveiden ketjuuntuminen. Tavoitteena tulisi olla aseman käyttöasteen parantaminen siten, että tavoiteltu täsmällisyystaso säilyy.

Tutkimus on tehty tutkimusohjelmassa nimeltä *Towards reliable mobility (Kohti luotettavaa liikkuvuutta)*, joka on toteutettu Delftin teknillisen yliopistossa. Yksi artikkeleista on laadukas journal-artikkeli, joka on julkaistu *Transportation Research Part B: Methodological* -julkaisussa. Tekijät ovat tutkineet paljon nimenomaan juna-



liikenteen täsmällisyyttä, ja voidaan jopa todeta heidän olevan kansainvälisellä tasolla alan johtavia tutkijoita.

Julkaisuissa viitataan paljon Careyn artikkeleihin, joista kaikki on mukana myös tässä kirjallisuuskatsauksessa ja joista yhtä on tarkasteltu seuraavassa alaluvussa. Artikkelissa on myös viitattu paljon Yuanin ja Hansenin omiin julkaisuihin, jotka myös ovat mukana katsauksessa. Lisäksi esille nousi kaksi saksankielistä julkaisua:

- Mühlhans, E. Berechnung der Verspätungsentwicklung bei Zugfahrten / Calculating the late-running development in train operation. ETR - Eisenbahntechnische Rundschau 7-8/1990, S. 465-468. (Mühlhans 1990)
- Weigand, W. Verspätungsübertragungen in Fernverkehrsnetzen / Delay propagation in long distance traffic networks. ETR - Eisenbahntechnische Rundschau 12/1981, S. 915-920. (Weigand 1981)

YUAN. DISSERTATION 2006.

#### STOCHASTIC MODELLING OF TRAIN DELAYS AND DELAY PROPAGATION IN STATIONS

Edellä esitellyt artikkelit ovat kaikesta päätellen tehty rinta rinnan Yuanin väitöskirjan (Yuan 2006) kanssa. Väitöskirjassaan Yuan esittelee jo mainitun analyttisen todennäköisyysmallin, jolla voidaan ennakoida asemilla tapahtuvaa viiveiden ketjuuntumista, joka johtuu reittikonflikteista ja viivästyneistä vaihtoyhteyksistä.

Kirjoittajan mukaan malli ennakoi viiveiden muodostumisen tarkemmin kuin aikaisemmat mallit, ottaen huomioon eri linjojen saapumis- ja lähtemisaikojen riippuvuudet sekä viivästyneiden saapumisaikojen vaikutuksen pysähtymisaikoihin. Mallissa junaliikenteen tapahtumien vaihteluita approksimoidaan tapauksesta riippuen joko lognormaalilla tai Weibullin jakaumalla, mitkä tutkimuksessa tehtävän yksityiskohtaisen tilastollisen analyysin mukaan soveltuvat asiaan erinomaisesti. Malliin syötetään sekä asemalle tulevien junien saapumisaikojen että alueen primääri viiveiden poikkeamien keskiarvo ja keskihajonta, jolloin se arvioi stokastisten mallien avulla ketjuuntuneiden viiveiden ja lähtevien junien viiveiden jakaumat. Näin mallilla voidaan arvioida kompleksisen aseman maksimikapasiteetti halutulla täsmällisyydellä. Kirjoittajan mukaan mallia voivat hyödyntää niin infrastruktuurin ylläpitäjät, aikataulusuunnittelijat kuin junaoperaattoritkin, optimoidessaan kapasiteetin käyttöä ja aikataulutusta.

GOVERDE. JOURNAL ARTICLE 2007.

#### RAILWAY TIMETABLE STABILITY ANALYSIS USING MAX-PLUS SYSTEM THEORY

Goverde (2007) analysoi juna-aikataulujen stabiiliutta max-plus-järjestelmäteorian avulla. Stabiiliudella tarkoitetaan tutkimuksessa rautatiejärjestelmän kykyä palautua aikataulunmukaiseen vakaaseen tilaan häiriön jälkeen. Myös Goverde toteaa, että voimakkaasti ketjutetut aikataulut ja vilkas liikenne aiheuttavat sen, että yksi myöhästyminen aiheuttaa helposti ketjureaktion, joka johtaa sekundäärisiin myöhästymisiin koko verkolla. Tämä onkin yleensä sekä aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelijoiden että liikenteenohjaajien päähuolenaihe.

Artikkelissa esitellään malli, jolla voidaan analysoida aikataulujen häiriösietoisuutta viiveiden ketjuuntumisilmiön suhteen. Malli hyödyntää max-plus-algebran lisäksi kriittisen polun algoritmeja. Se sisältää kaikki tärkeimmät riippuvuudet, jotka aiheutuvat



aikataulusta, logistiikasta ja jaetusta infrastruktuurista. Kirjoittajan mukaan valittu lähestymistapa antaa mahdollisuuden analysoida reaaliaikaisesti laajoja jaksoitettuja aikatauluja. Väitettä vahvistetaan tapaustutkimuksella, jossa analysoidaan Alankomaiden rautatiejärjestelmän aikataulua ja todetaan, että esitellyllä mallilla voitaisiin merkittävästi kehittää stabiilien aikataulujen laatimista. Artikkelia on käsitelty myös luvussa 8.5 Häiriösietoisuuden parantaminen.

DAAMEN & GOVERDE & HANSEN. JOURNAL ARTICLE 2009.

**NON-DISCRIMINATORY AUTOMATIC REGISTRATION OF KNOCK-ON TRAIN DELAYS**

DAAMEN & HOUBEN & GOVERDE & HANSEN & WEEDA. JOURNAL ARTICLE 2008.

**MONITORING SYSTEM FOR RELIABILITY OF RAIL TRANSPORT CHAINS**

GOVERDE & DAAMEN & HANSEN. CONFERENCE PROCEEDINGS 2008.

**AUTOMATIC IDENTIFICATION OF ROUTE CONFLICT OCCURRENCES AND THEIR CONSEQUENCES**

Tutkimusryhmän uusimmissa artikkeleissa (Daamen et al. 2008, Goverde et al. 2008, Daamen et al. 2009) kuvaillaan työkalua, joka kirjaa automaattisesti ylös ketjuuntuneiden viiveiden syyt oikein.

Artikkeleiden mukaan liikenteenohjaajat pystyvät kirjaamaan ylös viiveen todellisen syyn, mikäli se on jokin primäärihäiriö ja junayhteyden odotus. Sen sijaan risteämis- ja linjakonfliktien eli sekundääristen viivesyiden tunnistaminen ei aina ole niin selkeää. Asiaa hankaloittaa se, että viivesyiden kirjaaminen ei kuulu heidän ydintehtäviinsä, joten siihen ei saisi kulua liikaa aikaa. Alankomaiden nykyisen poikkeustilanne-rekisteröinnin puutteet osoitetaan tapaustutkimuksella, jossa rekisteröityjä tietoja verrataan junan kulkutietoihin. Käy ilmi, että liikenteenohjaajien ylöskirjaamat viiveiden syyt selittävät vain 8 prosenttia epätasaisuudesta. Analysointi osoittaa, että tätä osuutta voitaisiin korottaa merkittävästi hyödyntämällä automaattista sekundääristen viiveiden tunnistamista. Asia on tärkeä, sillä myöhästymisten taloudelliset seuraukset pitäisi voida kohdistaa vastuulliselle osapuolelle, joko operaattorille tai infrastruktuurin ylläpitäjälle.

Asian ratkaisemiseksi artikkelit esittelevät työkalun, joka tunnistaa erilaiset konfliktit automaattisesti ja yhdistää ne oikeudenmukaisesti eri junille. Lisäksi tietojen avulla pyritään tunnistamaan rakenteellisia konflikteja, jotka johtuvat aikataulusuunnittelun epäkohdista. Työkalu hyödyntää Alankomaissa käytössä olevien ajotietokoneiden ja kulunvalvontalaitteiden tuottamia standardimuotoisia sanomia. Sanomat siirretään väritettyyn Petriverkkomalliin, joka muodostaa pohjan esitellylle työkalulle. Artikkeleita on käsitelty myös luvussa 7.2 Viiveiden syyt.

WEEDA & WIGGENRAAD. CONFERENCE PROCEEDINGS 2006.

**JOINT DESIGN STANDARD FOR RUNNING TIMES, DWELL TIMES AND HEADWAY TIMES**

Weedan ja Wiggenraadin (2006) tavoitteena on ollut viiveiden ketjuuntumisilmiö huomioon ottaen luoda ajo-, pysähtymis- ja vuoroväliajoille sellaiset aikataulusuunnittelustandardit, joita käyttämällä junaliikenne muodostuu mahdollisimman täsmälliseksi. Standardien pohjana käytetään kahden alankomaalaisen pääreitien liikennöinnistä kerättyä dataa. Datan avulla muodostetaan konseptuaalinen malli vuorovälien ja viiveiden ketjuuntumisen välisestä yhteydestä. Tämän perusteella ehdotetaan

standardeja, jotka ehkäisevät viiveiden ketjuuntumista joko pidentämällä vuoroväliä tai lisäämällä ajoaikoihin ylimääräistä pelivaraa. Tavoitteensa puolesta artikkelia olisi voitu käsitellä myös luvussa 8.6 Järjestelmän optimointi.

### 7.3.2 *Malachy Careyn viiveiden ketjuuntumiseen liittyvä tutkimus*

CAREY & CARVILLE. JOURNAL ARTICLE 2000.

#### TESTING SCHEDULE PERFORMANCE AND RELIABILITY FOR TRAIN STATIONS

Yksi kirjallisuuskatsauksen eniten julkaisseista tekijöistä on Malachy Carey. Hänen mielenkiinnon kohteenaan ovat erityisesti aikataulusuunnittelu ja aikataulujen analysointi. Carey ja Carville (2000) tarkastelevat asemien aikataulujen suorituskyvyn ja luotettavuuden testausta. Pääpaino on sekundääristen viiveiden muodostumisessa, mutta artikkeli liittyy myös simulointiin (luku 6.4), aikataulu- ja kapasiteettisuunnitteluun (luku 9.3), häiriösietoisuuden parantamiseen (luku 8.5) ja infrastruktuuriin (luku 5.2).

Kirjoittajien mukaan vilkkaasti liikennöidyillä, ruuhkaisilla rautatieverkoilla junien satunnaiset viiveet ovat yleisiä. Usein nämä viiveet ketjuuntuvat, mikä johtaa siihen, että merkittävä osa aikataulutetuista palveluista myöhästyy tai joudutaan aikatauluttamaan uudelleen. Artikkelissa esitetään simulointimallin, jolla voidaan ennakoita todennäköisyysjakaumineen asemilla tapahtuvia viiveiden ketjuuntumisia, jotka saavat alkunsa tyypillisistä päivittäisistä primääri viiveistä (*exogenous delays*).

Menetelmän avulla voidaan testata ja vertailla erilaisten aikatauluehdotusten ja -muutosten luotettavuutta ennen niiden käyttöönottoa. Sen avulla voidaan myös tarkastella, mitä erilaiset muutokset liikennöintitapoihin tai infrastruktuuriin vaikuttavat aikataulun luotettavuuteen. Nämä muutokset voivat liittyä esimerkiksi vuoroväleihin, pysähdysaikoihin, verkon layoutiin, ratoihin, laitureihin tai opastinjärjestelmään. Malli kattaa luotettavuusanalyysin jokaiselle junatyypille, linjalle ja laiturille. Mallin avulla voidaan myös osoittaa, kuinka muutokset primääri viiveiden esiintyvyydessä vaikuttavat täsmällisyyteen ja luotettavuuteen.

Careyn ja Carvillen mukaan on kehitetty monia menetelmiä, joilla voidaan luoda käyttökelpoisia aikatauluja vilkkaille asemille. Nämä menetelmät ovat kuitenkin *deterministisiä* – eli eivät huomioi satunnaisuutta – eivätkä siten osoita, kuinka aikataulu suoriutuu viiveistä, joita tyypillisesti esiintyy. Esimerkiksi Britanniassa 5–20 prosenttia junista saapuu tai lähtee myöhässä normaalilla vilkkaasti liikennöidyillä asemalla.

Harvat olemassa olevat *stokastiset* – siis satunnaisuuden huomioon ottavat – simulointimenetelmät ovat keskittyneet pääasiassa tavaraliikenteen toimintoihin järjestelyratapihoilla tai junien kohtaamiseen yksiraiteisilla osuuksilla, ja niissä oletetaan yleensä, että junaliikenne ei ole aikataulutettua. Niissä ei ole kiinnitetty huomiota vilkkaasti liikennöityjen asemien aikataulutettuun junaliikenteeseen. Esimerkiksi Hallowell ja Harker (1998) ovat käsitelleet aikataulutetulle liikenteelle tarkoitettua, junien kohtaamisia tarkastelevaa simulointimallia, jossa ei kuitenkaan ole huomioitu asemia. Chen ja Harker (1990) puolestaan ovat arvioineet aikataulutettujen junien viiveitä, mutta tarkasteltavana on asemien sijaan kohtaamiset reitillä. Yksi syy tällaiselle rajaukselle on, että Pohjois-Amerikassa ei juuri ole vilkkaita monilaiturisia asemia, kun taas Euroopassa ja Aasiassa ne ovat yleisiä. Artikkelin mukaan ne olemassa olevat



simulointimallit, joissa on asemat ja solmukohdat on otettu huomioon, ovat deterministisiä, eivätkä huomioi junapalveluille tyypillisiä satunnaisia viiveitä.

Kirjoittajat toteavat deterministisien mallien soveltuvan hyvin aikataulujen toteuttamiskelpoisuuden tutkimiseen. Toteuttamiskelpoisella aikataululla tarkoitetaan aikataulua, jossa ei esiinny minkäänlaisia konflikteja, jolloin kaikkien aikatauluun sisältyvien junien on mahdollista liikennöidä aikataulun mukaisesti ilman viiveitä. Tutkimuksessa tarkasteltava aikataulu oletetaan valmiiksi toteuttamiskelpoiseksi ja keskitytään sen luotettavuuden tarkasteluun. Toisin sanoen tarkastellaan, kuinka herkkä se on tyypillisille viiveille ja häiriöille.

Artikkelissa tarkastellaan menetelmiä, joilla voidaan määritellä ja havainnollistaa tyypillistä primääriviiveistä johtuvia viiveiden ketjuuntumisilmiöitä asemilla. Kun tarkastellaan aikataulun luotettavuutta, primäärisyys ovat valmiiksi lähtötietoina ja tutkitaan, miten ne aiheuttavat sekundäärisiä myöhästymisiä. Niinpä artikkelissa tehdään ATTPS-ohjelmistolla (Automatic Train Timetabling and Platforming System) simulointikokeita, joissa syötteenä on tyypillisiä primääriviiveitä, joita ovat muun muassa kaluston rikkoutuminen tai vajaatoiminta, vaihdevauriot, henkilökunnan myöhästyminen, radan ylläpitotyöt, esteet radalla ja viiveet matkustajien junaan nousmisessa tai sieltä poistumisessa, ja tuloksena jakaumia sekundäärisille myöhästymisille. Kokeilla tutkitaan, kuinka primääriviiveiden suuruuksien kasvattaminen, niistä kärsivien junien määrän lisääminen tai erilaisten aikataulutussääntöjen käyttäminen vaikuttavat kokonaisviiveisiin, laitureiden käyttöön ja luotettavuuteen.

Primääriviiveet aiheuttavat kirjoittajien mukaan säännöllisesti seurannaisviiveitä muille junille. Jos juna esimerkiksi lähtee asemalta myöhässä, voi se viivästyttää samalle laiturille seuraavaksi aikataulutettua junaa, joka edelleen voi aiheuttaa myöhempien junien myöhästymisen. Sekundäärisiä myöhästymisiä aiheutuu myös esimerkiksi tilanteissa, joissa myöhässä saapuva juna joudutaan ohjaamaan poikkeukselliselle laiturille. Tämän seurauksena kyseiselle laiturille aikataulutetut junat joutuvat odottamaan laiturin vapautumista.

Tässä artikkelissa tarkastellaan viiveiden ketjuuntumista yksittäisellä asemalla. Näin ollen viiveet, jotka ovat syntyneet ennen asemalle saapumista, oletetaan primääri-viiveiksi, vaikka ne todellisuudessa olisivat johtuneet toisten junien viiveistä. Toisin sanoen sekundäärisiksi viiveiksi luetaan vain ne viiveet, jotka syntyvät tarkasteltavalla asemalla jonkin toisen junan myöhästymisen seurauksena.

Tutkimus on siis rajattu siten, että siinä ei ole mallinnettu ja simuloitu kokonaista rautatiejärjestelmää vain ainoastaan sen yhtä osaa, vilkasta asemaa. Käytännössä juna-liikenteen suunnittelu on monimutkaisempi ongelma sisältäen paljon laajemman kirjon erilaisia ristiriitaisia tavoitteita ja rajoitteita. Lisäksi artikkelin tarkastelun ulkopuolelle rajataan erilaiset hienostuneiden päätöksentekojärjestelmien hyödyt, kuten myös kokeneen henkilökunnan vuosien aikana hankitun hiljaisen tiedon merkitys. Toisin sanoen käytetty simulointimalli on melko yksinkertaistettu versio todellisuudesta, myös aseman tarkastelun tasolla.

Kirjoittajien mukaan on vain harvoja julkaisuja, joissa on käsitelty junien saapumis-, pysähtymis- tai lähtemisaikojen viiveiden jakaumia ja sitä, mitkä jakaumamallit sopivat parhaiten mihinkin tilanteisiin. Viiveiden jakaumamalleihin vaikuttavat voimakkaasti



tarkastettava asema, ajankohta ja junatyyppi. Näiden seikkojen vuoksi artikkelissa on käytetty vain kahta yksinkertaista jakaumaa, nimittäin tasajakaumaa tarkasteltavalle rataosuudelle sekä beetajakaumaa sitä seuraavalle rataosuudelle. Näin ollen malli on myös tältä osin melko yksinkertaistettu.

Simulointimenetelmän avulla voidaan tuottaa arvioidut jakaumat sekä sekundaarisille viiveille että kokonaisviiveille, sisältäen viiveiden lukumäärät ja suuruudet. Näistä jakaumista voidaan suoraan lukea täsmällisyysennusteet operaattoreiden käyttämässä muodossa, kuten kuinka suuri osa junista on 0, 5, 10 tai 15 minuuttia myöhässä. Britanniassa operaattorit ovat velvoitettuja tuottamaan ja julkaisemaan tämänkaltaisia tunnuslukuja ja niille määrätään rangaistuksia, mikäli tunnusluvut eivät täytä niille asetettuja arvoja. Näin ollen operaattoreille on tärkeää pystyä ennakoimaan näiden tunnuslukujen arvoja jo etukäteen esimerkiksi ennen uuden aikataulun voimaantuloa.

Simulointikeinoin voidaan myös tunnistaa luotettavuusongelmia ja pullonkauloja liikennejärjestelmästä. Tarkastelun kohteena voivat olla myös infrastruktuurin fyysiset muutokset, joita voivat olla esimerkiksi laiturin poistaminen, lisääminen tai pidentäminen kaukojunille sopivaksi tai layoutin muuttaminen siten, että tietyt radat eivät enää risteä. Näiden muutoksien vaikutusta täsmällisyyteen voidaan arvioida yksinkertaisesti ajamalla simulaatio ensin ilman muutoksia ja sitten niiden kanssa. Artikkelissa tarkastellaan esimerkiksi laiturimuutosten sallimista ja myöhässä olevien junien pysähtymisajan lyhentämistä. Molemmilla muutoksilla havaittiin olevan merkittävä vaikutus täsmällisyyden parantamiseen. Artikkelissa todetaan, että erilaisten muutoksien vaikutusta täsmällisyyteen on usein syytä arvioida myös taloudellisesta näkökulmasta, eli minkälaisia kustannuksia viiveistä aiheutuu. Tällaista tarkastelua artikkelissa ei kuitenkaan tehdä.

Simulointimenetelmien haittapuoli on kirjoittajien mukaan se, että ne vievät paljon aikaa ja tarvitsevat paljon dataa. Tästä syystä toimijat käyttävät niiden sijaan usein erilaisia heuristisia menetelmiä ja nyrkkisääntöjä esimerkiksi riittävän ylimääräisen laiturikapasiteetin määrittämiseen. Tällöin simulointimenetelmiä voidaan hyödyntää näiden menetelmien ja sääntöjen arvioimiseen ja validointiin. Juuri tällaista tutkimusta artikkelin kirjoittanut tutkimusryhmä on alkanut tehdä.

Tutkimus perustuu monivuotiseen yhteistyöhön Britannian rautatiealan osajien kanssa ennen ja jälkeen yksityistämisen. Tutkimuksen case-kohteena toimii Leedsin asema, koska sieltä oli saatavilla kattavinta dataa junien liikennöinnistä. Simulointituloksien oikeellisuus varmistettiin vertaamalla niitä olemassa oleviin datoihin ja aikataulutussääntöihin. Kaikkia tuloksia ei luonnollisestikaan voitu validoida, koska esimerkiksi erilaisia aikataulutustapoja ei ole mahdollista kokeilla käytännössä. Nämäkin tulokset olivat kuitenkin linjassa asiantuntijoiden ennakkokäsitysten kanssa, joten voidaan olettaa niiden olevan totuudenmukaisia.

Artikkelissa oli paljon viittauksia kirjoittajien omiin tutkimuksiin, joista täsmällisyyden kannalta relevantit ovat mukana myös tässä kirjallisuuskatsauksessa. Näiden lisäksi viitattiin muun muassa seuraavaan julkaisuun:

- Jovanovic, D. 1989. Improving railroad on-time performance: Models, algorithms and applications. PhD Thesis and Decision Sciences Working Paper



89-11-02. Decision Sciences Department, The Wharton School, University of Pennsylvania, Philadelphia. (Jovanovic 1989)

CAREY & KWIECINSKI. JOURNAL ARTICLE 1994.

**STOCHASTIC APPROXIMATION TO THE EFFECTS OF HEADWAYS ON KNOCK-ON DELAYS OF TRAINS**

Carey on tehnyt teemaan liittyvää tutkimusta pitkäjänteisesti. Carey ja Kwiecinski (1994a) ovat kehittäneet stokastisia approksimaatioita vuorovälien vaikutuksesta viiveiden ketjuuntumiseen. Kirjoittajien mukaan aikataulusuunnittelussa on tyypillistä, että kunkin rataosuuden matka-ajassa otetaan huomioon sekä junatyyppi että rataosuuden ominaisuudet, mutta sen sijaan vuorovälien suuruutta ei oteta huomioon samassa tarkastelussa. Käytännössä junat kuitenkin kärsivät erilaisista viiveistä, ja koska ne eivät normaalisti voi ohittaa toisiaan, viiveet ketjuuntuvat, mikäli vuorovälit ovat liian pienet. Tämä on erityisen suuri ongelma Euroopan ja Britannian moniraiteisilla, vilkkaasti liikennöidyillä verkoilla. Mitä lyhyemmät aikataulutetut vuorovälit ovat, sitä suuremmat ovat odotetut sekundääriset viiveet ja siten junien matka-ajat.

Ilmiön tarkastelemiseksi kirjoittajat kehittävät yksinkertaisia stokastisia approksimaatioita, joiden luotettavuutta he tarkastelevat simulaatioiden avulla. He esittävät kolme käyttötarkoitusta approksimaatioille:

- Niiden avulla voidaan tarkentaa muita stokastisia ja deterministisiä malleja, joita käytetään aikataulusuunnittelussa ja liikenteenohjauksessa.
- Niillä voidaan hioa olemassa olevia aikatauluja, jotka on toteutettu ilman tarkempaa tietoa viiveiden ketjuuntumisilmiöstä.
- Niiden avulla voidaan toteuttaa suuremman mittakaavan simulaatioita kuin aikaisemmin, kun jokaisen solmun käyttäytymistä ei tarvitse simuloida erikseen.

### **7.3.3 Viiveiden ketjuuntumista käsitteleviä muita julkaisuja**

HASEGAWA & KONYA & SHINOHARA. JOURNAL ARTICLE 1981.

**MACRO-MODEL ON PROPAGATION-DISAPPEARANCE PROCESS OF TRAIN DELAYS**

Edellisten pitkäjänteisempien tutkimuksien lisäksi esille nousi myös yksittäisiä viiveiden ketjuuntumiseen liittyviä artikkeleita. Vuonna 1981 Hasegawa et al. (1981) tutkivat mallia, joka ennakoii yksittäisen viiveen heijastusvaikutusta koko verkolle. Mallin avulla tutkimuksessa lasketaan esimerkinomaisesti yksittäisen onnettomuuden aiheuttama kokonaisviive. Laskelman tulosta verrataan simulointimenetelmin saatuun tulokseen.

MAO & YANG & WANG. CONFERENCE PROCEEDINGS 1998.

**STATISTICAL AND SIMULATION-BASED MODELS FOR PROGRESSION PREDICTION OF TRAIN DELAYS ON BUSY RAILWAY LINES**

Mao et al. (1998) toteavat, että junien viiveet ovat vakava ongelma ja ne voivat vähentää rautatietojen tuloja. Niinpä he esittelevät kaksi mallia, joilla junien viiveitä voidaan ennakoida ja sitä kautta vähentää. Ensimmäinen malli perustuu tilastolliseen analyysiin ja sen avulla voidaan ennakoida primääri viiveitä vilkkailla verkoilla. Jälkimmäinen on simulointimalli, jolla voidaan analysoida kompleksisia

järjestelmiä, joissa viivästyneet junat vaikuttavat toisiinsa ja viiveet ketjuuntuvat. Mallin avulla voidaan näin arvioida aikataulun suorituskykyä ennen sen käyttöönottoa. Lopuksi artikkeli esittelee malleja hyödyntävän tietokoneohjelmiston, jolla liikenteenohjaajat ja ratahallinto voivat kehittää liikennöintiä ja näin vähentää viiveitä. Aiheensa puolesta artikkelia oltaisi voitu käsitellä myös luvuissa 6.2 Matemaattiset ja tilastolliset menetelmät ja 6.4 Simulointi.

XUN & NING & LI. JOURNAL ARTICLE 2007.

**NETWORK-BASED TRAIN-FOLLOWING MODEL AND STUDY OF TRAIN'S DELAY PROPAGATION**

ZHOU & GAO & LI. JOURNAL ARTICLE 2006.

**CELLULAR AUTOMATON MODEL FOR MOVING-LIKE BLOCK SYSTEM AND STUDY OF TRAIN'S DELAY PROPAGATION**

Xun et al. (2007) ja Zhou et al. (2006) esittelevät simulointimallin, jolla voidaan tarkastella viiveiden muodostumisilmiötä. Simulointimallin avulla tarkastellaan muun muassa, kuinka junien vuoroväli ja primääri viiveet vaikuttavat viiveiden ketjuuntumiseen. Saatuja tuloksia verrataan teoreettisiin tuloksiin mallin luotettavuuden varmistamiseksi. Aiheensa puolesta artikkeleista olisi voitu käsitellä myös luvussa 6.3 Mallintaminen tai luvussa 6.4 Simulointi.

JIANG & XU & XIE. CONFERENCE PROCEEDINGS 2007.

**TRAIN DELAY PROPAGATION SIMULATION IN RAIL TRANSIT SYSTEM**

XU & JIANG & SHAO & ZHU. JOURNAL ARTICLE 2006.

**SIMULATION STUDY ON TRAIN DELAY AND PROPAGATION CHARACTERISTICS OF URBAN MASS TRANSIT SYSTEMS**

Myös Jiang et al. (2007) ja Xu et al. (2006) tarkastelevat viiveiden muodostumista simulointimenetelmin. Kohteena on Shanghain kevytraidejärjestelmä. Nämä artikkelit on esitelty tarkemmin luvussa 6.4 Simulointi.

D'ARIANO & PRANZO. JOURNAL ARTICLE 2009.

**AN ADVANCED REAL-TIME TRAIN DISPATCHING SYSTEM FOR MINIMIZING THE PROPAGATION OF DELAYS IN A DISPATCHING AREA UNDER SEVERE DISTURBANCES**

D'Ariano ja Pranzo (2009) esittelevät reaaliaikaisen ROMA-liikenteenohjausjärjestelmän toimintaa ja sen käyttämiä algoritmeja viiveiden ketjuuntumisen vähentämiseksi ja täsmällisyyden parantamiseksi häiriötilanteissa. Artikkelia on käsitelty tarkemmin luvussa 9.5 Reaaliaikaiset järjestelmät.

PETERS & EMIG & JUNG & SCHMIDT. CONFERENCE PROCEEDINGS 2005.

**PREDICTION OF DELAYS IN PUBLIC TRANSPORTATION USING NEURAL NETWORKS**

Peters et al. (2005) ovat tutkineet prosessia, jossa viiveen tiedot syötetään neuroverkkoon, joka pyrkii ennustamaan siitä aiheutuvaa viiveiden ketjuuntumista. Artikkelia on tarkasteltu tarkemmin luvussa 6.2 Matemaattiset ja tilastolliset menetelmät.



MEESTER & MUNS. JOURNAL ARTICLE 2007.

**STOCHASTIC DELAY PROPAGATION IN RAILWAY NETWORKS AND PHASE-TYPE DISTRIBUTIONS**

Meester ja Muns (2007) käsittelevät yleistä mallia viiveiden ketjuuntumisen mallintamiseen sekä osoittavat, että phase-type-jakaumien avulla primääri viiveiden jakaumista voidaan johtaa sekundääri viiveiden jakaumat.

RODRIGUEZ. CONFERENCE PROCEEDINGS 2008.

**AN INCREMENTAL DECISION ALGORITHM FOR RAILWAY TRAFFIC OPTIMISATION IN A COMPLEX STATION**

Rodriguez (2008) vertailee kahta erilaista heuristista algoritmia, joiden avulla voidaan minimoida viiveiden ketjuuntuminen asemilla. Artikkelia on käsitelty tarkemmin luvussa 8.6 Järjestelmän optimointi.

### **7.3.4 Yhteenveto ja johtopäätökset**

Viiveiden ketjuuntumista on tutkittu paljon. Erityisen ansiokasta työtä teeman ympärillä on tehnyt Delftin teknillisen yliopiston tutkimusryhmä Alankomaista sekä Malachy Carey Britanniaista. Sekä heidän että muiden tutkijoiden näkökulma asiaan on pääsääntöisesti hyvin matemaattinen. Asiaa lähestytään mallintamalla järjestelmää erilaisin algoritmein ja tilastollisin analyysein. Mallien pohjalta järjestelmän käytöstä tarkastellaan simuloinnin keinoin. Tavoitteena on usein vuorovälien ja pelivaran optimointi siten, että viiveiden ketjuuntumista tapahtuisi mahdollisimman vähän. Useimmat tutkimukset nimittäin korostivat viiveiden ketjuuntumisen eksponentiaalisuutta sekä kokonaisviiveistä aiheutuvaa taloudellista ja muuta haittaa.

Melko yksipuolinen matemaattinen tarkastelutapa on aiheeseen liittyvän tutkimuksen suurin heikkous. Monimutkaista järjestelmää mallinnettaessa joudutaan tekemään paljon yksinkertaistuksia ja tyytymään osajärjestelmien tarkasteluun. Lisäksi mallintaminen edellyttää, että tutkijalla on olemassa hypoteesit siitä, kuinka järjestelmä toimii. Kompleksisten järjestelmien tapauksessa tämä on usein mahdotonta tai ainakin hyvin työlästä.

Tältä pohjalta voisi olla mielenkiintoista tutkia ketjuuntumista analysoimalla junien kulkutietoja tiedonlouhintamenetelmin. Louhintamenetelmien ideana on, että annetaan datan puhua puolestaan. Näin ollen hypoteeseja ei tarvita etukäteen, vaan menetelmät paljastavat syy-seuraussuhteet datasta. Näin voitaisiin hyvin kompleksisestakin järjestelmästä selvittää, mikä vaikuttaa mihinkin, toisin sanoen, kuinka erilaiset primääri viiveet aiheuttavat sekundäärisiä viiveitä.

### **7.4 Myöhästymisten seuraukset**

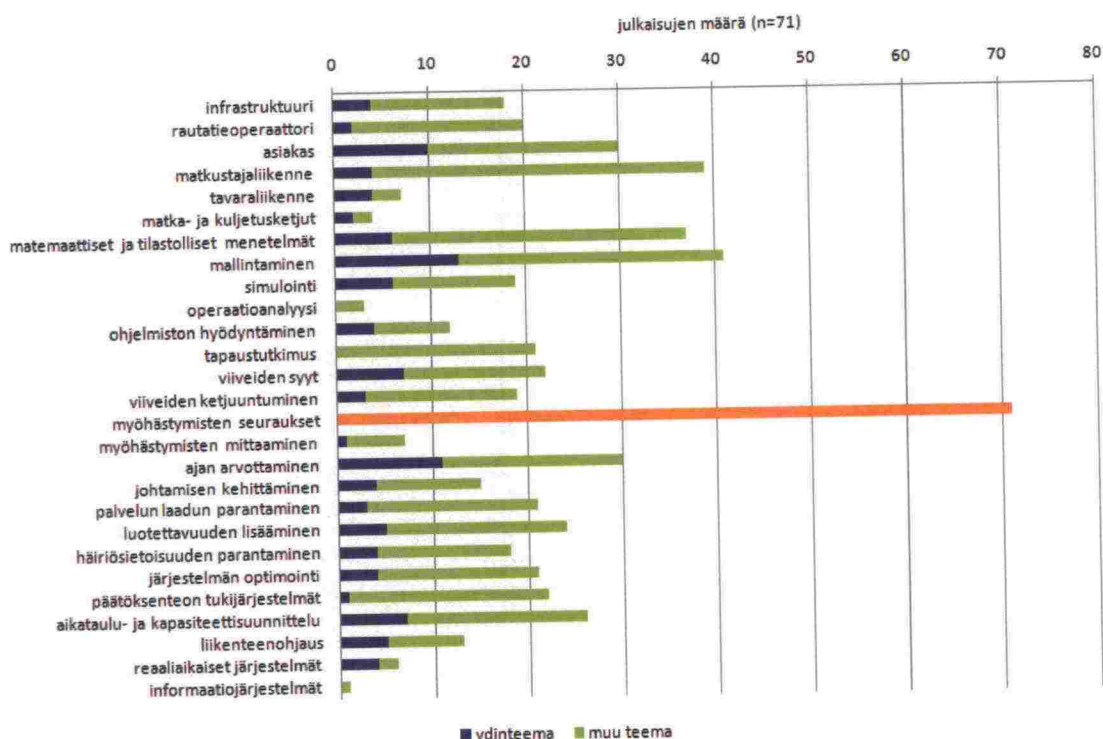
Tässä kirjallisuuskatsauksessa on myöhästymisten seurauksia tarkasteltu konkreettisina epätasaisuuden vaikutuksina asiakkaille, kuljetuksille tai järjestelmälle. Yksi merkittävä junaliikenteen myöhästymisten seuraus on niiden ketjuuntumisen ja leviäminen rataverkolla. Myöhästymisten seuraukset voidaan kokonaisuutena käsittää hyvin laajana aiheena. Epätasaisuus vaikuttaa monin tavoin niin koko liikennejärjestelmään, liikenteen suunnitteluun, liikennöinnin kustannuksiin kuin matkustajien matkan kestoon ja matkaketjuihin. Myöhästymisten seuraukset voidaan myös ottaa huomioon radan-

pitäjän ja rautatieoperaattorien välisissä sopimuksissa esimerkiksi suorituskannustimien kautta.

Myöhästymisten seurauksia voidaan tarkastella monista näkökulmista. Tästä johtuen myös tätä teemaa on käsitelty monien muiden teemojen yhteydessä, muun muassa mittaamisen, myöhästymisten aiheuttamien kustannusten ja aikataulusuunnittelun näkökulmista. Tästä syystä aihetta käsitellään usein jonkin muun teeman yhteydessä, vain harvassa artikkelissa pääpaino on ainoastaan myöhästymisten seurauksissa.

Seuraavassa on esitelty ne julkaisut, joissa on tarkasteltu aihetta joko laajemmin tai jostain myöhästymisten seurauksien näkökulmasta. Kirjallisuushaut tuottivat tähän teemaan liittyviä julkaisuja paljon, yhteensä 71, mutta näistä vain pieni osa, kuusi julkaisua, käsittelee puhtaasti myöhästymisten seurauksia.

Kuuden julkaisun perusteella ei tehty johtopäätöksiä siitä, mitä muita teemoja esiintyy julkaisuissa, joissa näkökulma on viiveiden seurauksissa. Tämän johdosta kuva 7.3 on piirretty kaikista niistä julkaisuista, joissa myöhästymisten seurauksia on käsitelty jollain tasolla.



Kuva 7.3 Teeman MYÖHÄSTYMISTEN SEURAUKSET kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat.

Kuvasta 7.3 nähdään, että myöhästymisten seurauksia käsitellään useimmiten matkustajaliikenteessä. Erilaiset menetelmät, mallintaminen sekä matemaattiset ja tilastolliset menetelmät näkyvät myös tutkimuksessa. Kaiken kaikkiaan myöhästymisen seurauksia on tarkasteltu lähes kaikkien täsmällisyyttä käsittelevien näkökulmien yhteydessä.



Raportin liitteenä on luettelo myöhästymisten seuraukset -teemaa käsittelevistä julkaisuista. Mukana on 56 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus).

#### **7.4.1 Luotettavuuden merkitys matkaketjuissa**

HOUBEN & RIETVELD & VAN HAGEN & DAAMEN & MOLTZER. REPORT 2006.

##### **IMPORTANCE OF RELIABILITY FOR TRANSPORTATION CHAINS. SUBJECTIVE VERSUS OBJECTIVE RELIABILITY: CHANCES FOR INCENTIVES?**

Houben et al. (2006) esittelevät Transumo-projektin *Reliability of mobility chains* alustavia tuloksia. Projekti on ollut käynnissä maaliskuusta 2005 maaliskuuhun 2009, joten tämän projektin tuloksia tultaneen julkaisemaan vielä lisää.

Artikkelin keskeiset tutkimuskysymykset ovat: Kuinka tärkeää luotettavuus on asiakkaan kannalta? Kuinka tärkeää se on suhteessa muihin laadun näkökulmiin, kuten hintaan, mukavuuteen, matka-aikaan, informaatioon yms. nähden? Kirjoittajat pohtivat, onko asiakasnäkökulma otettu oikein huomioon rautatieyrityksen, rautatieinfrastruktuurinhaltijan ja valtion välisissä sopimuksissa ja tarvitaanko näissä sopimuksissa vielä muitakin kannustimia.

Artikkelissa käsitellään kattavasti luotettavuutta kuljetusketjuissa ja tarkastellaan epätäsmällisyyden syitä ja seurauksia, erityisesti matkustajien näkökulmasta. Epätäsmällisyyden seurauksina artikkelissa nostetaan esiin muun muassa pidentyneet matka-ajat, stressin tunne, epämukavuus esimerkiksi istumapaikan puuttumisen kautta ja aika-tilausongelmat.

Artikkelissa kuvataan myös, millaisia ovat asiakkaiden toiveet matkaan liittyen. Toiveet on esitetty pyramidin muodossa, jossa alimmaisena, suurimmalla osuudella (50 %) ovat turvallisuus ja luotettavuus. Matkustajien odotuksia kuvataan myös ajan arvottamisen kautta. Tutkimuksessa on tarkasteltu koko matkaketjua ovelta ovelle.

Kaiken kaikkiaan Houben et al. (2006) kuvaavat hyvin täsmällisyyden seurauksia sekä tekijöitä, jotka siihen vaikuttavat. Artikkelin on ansiokkaasti tarkastellut asiaa koko matkaketjun ja asiakkaan näkökulmasta. Täsmällisyystutkimuksen kannalta tämän projektin seuraaminen ja jatkotulosten hyödyntäminen on huomioon otettava asia.

#### **7.4.2 Operatiivisen suorituskyvyn kannustimien käyttö Britannian rataverkolla**

GIBSON. JOURNAL ARTICLE 2005

##### **INCENTIVISING OPERATIONAL PERFORMANCE ON THE UK RAIL INFRASTRUCTURE SINCE 1996**

Gibson (2005) kuvaa erilaisia arviointimenetelmiä, joiden avulla Britannian rautateistä vastaavalle viranomaiselle on asetettu kannustimia rataverkon parantamiseksi. Tarkastelun kohteena ovat lähinnä junien myöhästymiset ja junavuorojen peruutukset. Artikkelin pääpaino on suorituskannustinjärjestelmän toiminnan kuvauksessa.

Artikkelin mukaan radanomistaja on vastuussa kaikista niistä myöhästymisistä, jotka eivät suoraan johdu operaattorista. Suorituskannustimille on määrätty maksut, jotka pitkämatkaisessa liikenteessä keskimääräinen ovat 170 puntaa minuutilta ja lähiliiken-

teessä 35 punttaa minuutilta. Kannustinjärjestelmä on viiveminuuttien lisäksi sidottu myös radanpitäjälle asetettuihin tavoitteisiin. Suorituskyvyn suurimmat ongelmat liittyvät myöhästymisten syihin ja niiden monimutkaisuuteen sekä siihen, että tehtävien parannusten ja liikennöinnin yhteyttä ei ymmärretä riittävän hyvin.

Myös Fearnley et al. (2004) ovat tarkastelleet suorituskannustimien ja viiveiden välistä yhteyttä.

#### **7.4.3 Myöhästymisten seurauksia käsitteleviä muita julkaisuja**

MATTSSON. BOOK SECTION 2007.

##### **RAILWAY CAPACITY AND TRAIN DELAY RELATIONSHIPS**

Mattsson (2007) käsittelee kapasiteetin ja viiveiden yhteyttä toisiinsa sekä esitellään erilaisia menetelmiä tämän yhteyden kuvaamiseen ja viiveiden minimointiin. Viiveiden minimointiongelmia pohdiskellessaan Mattsson tuo esille myös nykyisin vallalla olevan näkökulman, jossa minimoidaan junien viiveitä, vaikka enemmän merkitystä olisi minimoida matkustajille tai tavaralle aiheutuneet viiveet. Tämä vaatisi painottamista matkustaja- tai tavaramäärällä. Julkaisussa painottuvat erilaiset menetelmät varsinaisten viiveiden seurausten sijaan.

CAREY & CARVILLE. JOURNAL ARTICLE 2000.

##### **TESTING SCHEDULE PERFORMANCE AND RELIABILITY FOR TRAIN STATIONS**

Carey ja Carville (2000) tarkastelevat mallia, jonka avulla voidaan ennakoida asemilla tapahtuvia viiveiden ketjuuntumisia. Artikkelin on kuvattu tarkemmin viiveiden ketjuuntumista tarkastelevan luvun 7.3 yhteydessä.

LAMPE. JOURNAL ARTICLE 1991.

##### **PUNCTUALITY -- A QUALITY FEATURE**

Lampe (1991) esittelee historiatietoon perustuen täsmällisyyden kehitystä Saksassa. Epätäsmällisyydestä johtuva matkustajien tyytymättömyys on Saksassa kasvanut, ja artikkelissa pohditaankin epätäsmällisyyden syitä ja mahdollisuuksia parantaa keskimääräistä täsmällisyyttä suunnittelun avulla.

FIEDLER. MAGAZINE ARTICLE 2005.

##### **RELIABILITY AS A COMPETITIVENESS CRITERION**

Fiedler (2005) tarkastelee epätäsmällisyyden seurauksia, kuten viiveitä, menetettyjä yhteyksiä ja viiveiden ketjuuntumista ja toteaa että näitä on selvitetty syvällisesti vasta hyvin vähän. Tämän johdosta hän esittelee tutkimuksen, jossa kuvataan ja pohditaan luotettaviin palveluihin liittyviä kysymyksiä sekä täsmällisyyden merkitystä rautateiden kilpailuetuna muihin liikennemuotoihin nähden.

JOCHIM. MAGAZINE ARTICLE 2000.

##### **ECONOMIC DETERMINATION OF QUALITY BENCHMARKS IN RAILWAY OPERATIONS**

Jochim (2000) kuvaa junaliikenteen kustannusten nousevan aikaan sidonnaisten kustannusten noustessa, muun muassa heikon aikataulutuksen ja kasvavien viiveiden johdosta. Artikkelissa kuvataan myös ongelma kysynnän ja tarjonnan välillä, joka



aiheuttaa pidentyneitä odotusaikoja ja heikentää junaliikenteen houkuttelevuutta. Tutkimuksessa on käytetty odotusajan riippuvuutta kustannuksista ja tuloista optimaalisen liikenteen määrittämiseen, operaattorin näkökulmasta.

#### **7.4.4 Yhteenveto ja johtopäätökset**

Viiveiden seuraukset on aihealueena hyvin laaja. Tässä kirjallisuuskatsauksessa on tarkasteltu erikseen useita viiveiden seurauksia. Kirjallisuuskatsauksen edetessä havaittiin, ettei ole paljoakaan sellaisia artikkeleja, joissa näkökulma olisi laaja-alaisesti viiveiden seurauksissa ja niiden vaikutuksissa. Usein artikkelissa on toinen tema, joka on vahvemmin esillä, kuten asiakkaat tai erilaiset mallinnusmenetelmät.

Tämä ei kuitenkaan tarkoita, ettei viiveiden seurauksia olisi kirjallisuudessa tutkittu tai että ne olisivat jääneet vähemmälle huomiolle. Pikemminkin tämä tulos kuvaa sitä, että viiveiden seuraukset otetaan huomioon monessa tutkimuksessa ja niitä pyritään lähestymään useasta näkökulmasta. Usein tutkimuksen ja myös käytännön työn tavoitteena on viiveiden vaikutusten pienentäminen.

Kirjallisuudessa epätasällisuuden ja sen kasvun seurauksena nähdään junaliikenteen kilpailukyyn heikkeneminen samoin kuin negatiiviset vaikutukset junaliikenteen imagoon. Matka-aikojen kasvu ja vaihtoyhteyksien menettäminen ovat myös seurauksia, joilla nähdään olevan matkustajalle merkittävät vaikutukset. Viiveiden kasvaessa on havaittavissa kasvavaa tyytymättömyyttä ja epätasällisuus vaikuttaa koko junaliikenteen palvelun laatuun.

Viiveillä on seurauksia matkustajien lisäksi myös muille osapuolille, yhtälailla rautatieoperaattorille aiheutuu viiveistä kustannuksia. Kirjallisuudessa nostetaan esiin myös se, että viiveiden seuraukset tulisi arvottaa taloudellisesti ja kirjata muun muassa liikennöintisopimuksiin bonus- tai sanktiomaksuin.

#### **7.5 Myöhästymisten mittaaminen**

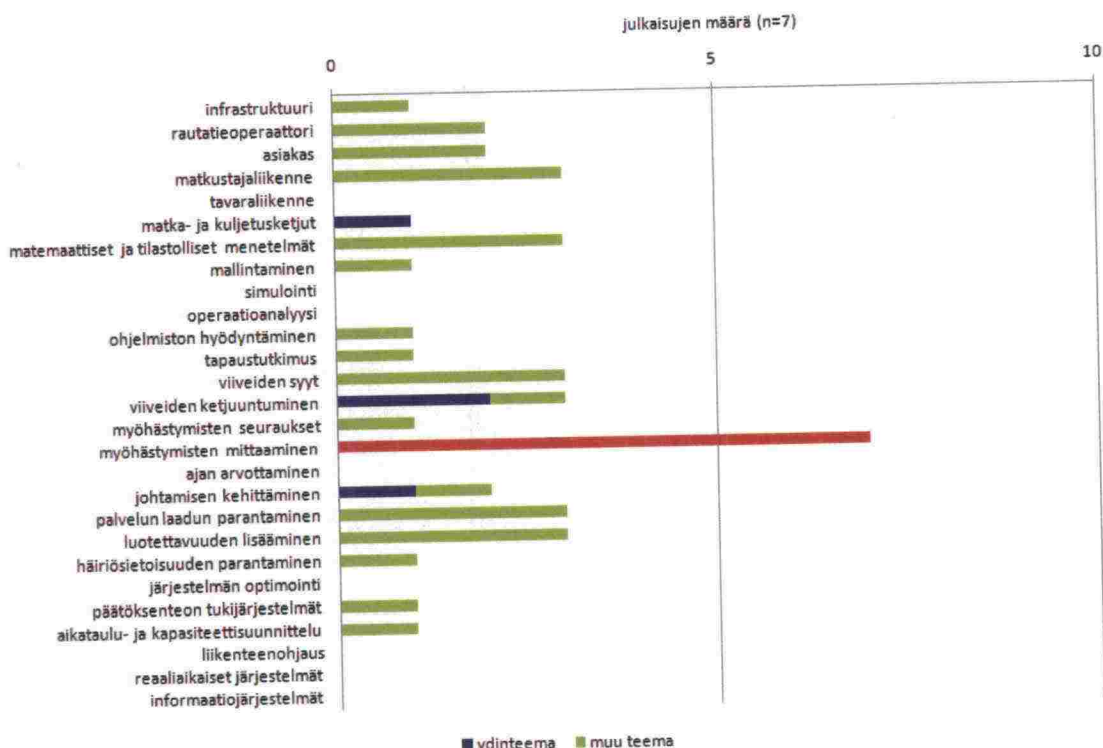
Myöhästymisten mittaaminen tai laajemmin ajateltuna täsmällisyyden mittaaminen palvelee montaa näkökulmaa. Viiveitä ja myöhästymisiä analysoimalla voidaan tunnistaa heikkouksia toiminnoissa tai rataverkossa. Täsmällisyyden mittaustuloksia käytetään myös kannustimina liikennöintisopimuksissa. Yhtälailla tietoa viiveistä ja myöhästymisistä tarvitaan aikataulusuunnittelussa, liikenteenohjauksessa tai kunnossapidossa. Tämän johdosta täsmällisyyttä mitataan, useimmiten mittausta keskittyy juuri myöhästymisten mittaamiseen.

Viiveiden tai myöhästymisten mittaamista on tässä yhteydessä tarkasteltu erilaisten mittaamistapojen ja -perusteiden kautta. Tässä luvussa on esitelty julkaisuja, joissa on erilaisia lähestymistapoja rautatieliikenteen täsmällisyyden mittaamiseen. Useassa julkaisussa täsmällisyyden mittausta käsitellään osana laajempaa rautatieliikenteen laadun mittaamista. Tähän lukuun on kuitenkin poimittu artikkeleista juuri täsmällisyyttä tarkasteltavat osuudet.

Täsmällisyyden mittaamisen yhteydessä käsitellään muitakin teemoja, ja juuri laadun parantaminen esiintyy näistä useimmin. Näkökulmana täsmällisyyden mittaamisessa on usein matkustajaliikenne ja asiaa on lähestytty tapaustutkimuksen kautta. Aikataulu-

suunnittelu ja luotettavuuden parantaminen esiintyvät teemoina myös mittaamisen yhteydessä. Yhtenä huomiona nostettakoon esille myös viestintä ja mittaustuloksista raportointi.

Kirjallisuuskatsauksessa on mukana yhteensä 39 julkaisua, jotka liittyvät viiveiden mittaamiseen. Näistä ainoastaan seitsemässä on keskitytty erityisesti tähän teemaan, ja lopuissa aiheen käsittely oli pienemmässä roolissa. Kuvassa 7.4 on kuvattu näiden seitsemän julkaisun ja muiden teemojen välinen yhteys.



Kuva 7.4 Ydinteeman MYÖHÄSTYMISTEN MITTAAMINEN kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat.

Kuvasta 7.4 nähdään, että kirjallisuudessa täsmällisyyden mittaamisen yhteydessä tarkastellaan myös palvelun laadun parantamista ja luotettavuuden lisäämistä. Koska myöhästymisten mittaaminen on keskeisenä näkökulmana vain seitsemässä julkaisussa, ei kuvan pohjalta ole mahdollista vetää johtopäätöksiä eri teemojen välisistä yhteyksistä. Kirjallisuus kuitenkin tukee kuvasta nähtävää havaintoa siitä, että täsmällisyyden mittaamista tehdään pääsääntöisesti matkustajaliikenteessä ja mittaustuloksia voidaan hyödyntää täsmällisyysjohtamisen työkaluna.

Raportin liitteenä on luettelo myöhästymisten mittaaminen -teemaa käsittelevistä julkaisuista. Mukana on 33 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus).



### **7.5.1 Asiantuntijoiden näkemyksistä liittyen Belgian ja Alankomaiden rautatietojien julkiseen viestintään**

GELDERS & GALETZKA & VERCKENS & SEYDEL. JOURNAL ARTICLE 2008.

#### **SHOWING RESULTS? AN ANALYSIS OF THE PERCEPTIONS OF INTERNAL AND EXTERNAL STAKEHOLDERS OF THE PUBLIC PERFORMANCE COMMUNICATION BY THE BELGIAN AND DUTCH RAILWAYS**

Gelders et al. (2008) esittelevät kvalitatiivisen tutkimuksen tuloksia belgialaisten ja alankomaalaisten rautatieyritysten suorituskyvyn mittaamistavoista matkustajien suuntaan. Tutkimuksessa esitellään millaisia mittareita heillä on käytössä ja erityisesti kuinka mittaustuloksista viestitään omalle henkilökunnalle ja sidosryhmille.

Artikkeli on jossain määrin poikkeuksellinen tässä kirjallisuuskatsauksessa, sillä sen kirjoittajat ovat markkinointiviestintää, viestintää ja asiakaspsykologiaa tutkivista yliopiston yksiköistä, eivät insinööritieteistä. Ehkä osin erilaisesta katsantokannasta johtuen artikkelissa onkin paljon hyvää pohdintaa siitä millaista suorituskyvyn ja erityisesti täsmällisyyden viestinnän tulisi olla rautatieliikenteessä. Artikkelissa asiaa on lähestytty Alankomaiden ja Belgian esimerkkien kautta, mutta monet ajatuksista on hyödynnettävissä myös muualla. Artikkelissa on haettu vertailukohtaa suorituskyvyn ja palvelun laadun mittaamiselle muualta tuotannosta ja palvelualoilta.

Kirjoittajat toteavat, että kansalaisten käsitykset julkisesta toiminnasta eivät muodostu yksin palvelun laadun perusteella, vaan myös julkinen viestintä näistä asioista vaikuttaa yleiseen mielipiteeseen. Artikkelissa esitetään, että huolellinen hyvien ja huonojen suorituksen vaikutusten mittaaminen ja johtaminen auttaa johtoa tekemään parhaita päätöksiä sekä yhtiön että yhteiskunnan kannalta. Hyvän viestinnän kautta suorituskyvyn mittarit voivat toimia myös markkinoinnin välineinä parantaen yhtiön mainetta.

Täsmällisyyttä mitataan sekä Belgiassa että Alankomaissa aikataulun mukaisesti asemalle saapuneiden junien prosenttiosuutena. Tämän lisäksi erilaisissa laadun mittaristoissa on täsmällisyys huomioitu; Belgiassa täsmällisyys on ilmoitettu myös matkustajien antamana arvosanana kolmannesvuosittain.

Gelders et al. (2008) kritisoivat täsmällisyydsmittareita muun muassa siitä, että ne mittaavat tilannetta koko verkolla, vaikka täsmällisyyttä heikentävät asiat ovat useimmiten hyvin paikallisia. Täsmällisyyden mittareita pidetään kiistanalaisina. Epäselvää on muun muassa se, koska täsmällisyyttä mitataan. Belgialaiset ja alankomaalaiset rautatieyhtiöt mittaavat täsmällisyyttä vain määräasemalla, vaikka heillä on käytössä moderni junan kulunseurantajärjestelmä, josta saadaan täsmällisyystietoa koko matkan ajalta. Tämän todetaan olevan myös menetelmällisesti väärin, sillä matkustajia jää pois myös ennen määräasemaa. Asiakkaan näkökulmasta on vakavampaa, jos juna on myöhässä asemalla, jossa useat matkustajat vaihtavat toiseen junaan tai toiseen kulkumuotoon, kuin jos juna on myöhässä pääteasemalla, johon matkaketjut päättyvät.

Artikkelissa on nostettu esiin kommentti junaliikenteen palvelusta, jonka eräs belgialaisen rautatieyhtiön sisäpiiriläinen on sanonut: Junalippu takaa, että pääset paikasta A paikkaan B, ei sitä, että pääset tuon matkan aikataulunmukaisesti. Tämän tyyppiseen asenteeseen kirjoittajat esittävät syyksi sen, että rautatieliikenteen täsmällisyyskulttuurin ovat rakentaneet insinöörit ja teknikot. Rautateiden henkilökunta puhuu jatkuvasti junien myöhästymisistä, kun muualla puhutaan matkustajien myöhästymisistä.

Matkustajia tai asiakkaita tarkastellaan vain vähän, sen sijaan keskitytään kaluston liikkumiseen. Artikkelissa todetaan, että suorituskyvyn mittareita voidaan tulkita monin tavoin ja että ne voivat myös mahdollistaa strategisen viestinnän.

Täsmällisyyden mittaamista pidetään tärkeimpänä suorituskyvyn mittarina. Täsmällisyys on yksi korvausperusteista ja myös mediassa rautatieoperaattoria kritisoidaan täsmällisyydestä perusteella. Kirjoittajien mukaan ei kuitenkaan ole täysin selvää, miksi täsmällisyyttä mitataan. Täsmällisyyden mittaamisen rinnalla kirjoittajat pitävät tärkeänä itse tuloksesta viestimistä sekä sisäisesti että ulkoisesti. Artikkelissa kuvataan myös tarkemmin joitain piirteitä, jotka täsmällisyysviestinnässä olisi hyvä ottaa huomioon.

Artikkelissa viitataan muun muassa seuraaviin julkaisuihin:

- Epstein, M. & Roy, M. 2001. Sustainability in action: Identifying and measuring key performance drivers. *Long Range Planning*, Vol. 34, p. 585–604.
- Otley, D. 1999. Performance management: A framework for management control systems research. *Management Accounting Research*, Vol. 10, p. 363–382.
- Schreurs, L. 2005. Customer satisfaction of Dutch Railways: A research approach toward the quality and objectivity of customer satisfaction scores of NS. Duivendrecht: Ministry of Transportation.
- Zeithaml, V. & Bitner, M.J. & Gremler, D.D. 2006. Services marketing. Integrating customer focus across the firm. 4th ed. New York: McGraw-Hill.

Samat tekijät ovat edellä esitellyn artikkelin jälkeen julkaisseet myös toisen artikkelin (Galetzka et al. 2008), jossa käsitellään samaa teemaa. Siinä tarkastellaan suorituskyvyn mittaamisen lisäksi mittaustuloksiin pohjautuvaa viestintää. Täsmällisyysviestinnän näkökulmasta tämäkin artikkeli on hyvä teoriakuvaus, jossa on myös käytännöllinen ote.

### 7.5.2 *Matkustajien kokeman palvelun laadun mittaaminen*

NATHANAIL. JOURNAL ARTICLE 2008.

#### **MEASURING THE QUALITY OF SERVICE FOR PASSENGERS ON THE HELLENIC RAILWAYS**

Nathanail (2008) kuvaa rautatieliikenteen laadun seurantaan ja ohjaukseen tarkoitettua mittariston, jossa arvioidaan 222 tekijän, kuudessa eri ryhmässä, avulla matkustajien palvelun laatua. Artikkelissa esitettyä mittaristoa on sovellettu Kreikan rautateillä ja Nathanail esittää tämän kokeilun tuloksia artikkelissaan.

Rautatieliikenteen laadun mittaristoa tarvitaan, jotta saadaan tietoa laadusta asiakkaiden näkökulmasta. Kirjoittaja viittaa markkinoinnin perusoppeihin, joiden mukaan kilpailukyvyn takaamiseksi tarvitaan tietoa matkustajien tyytyväisyydestä ja uskollisuudesta. Näiden avulla voidaan parantaa palvelun laatua. Myöhemmin artikkelissa kuitenkin todetaan, että matkustajien kokemukset tai mielikuva eivät ole aina sopivimpia täsmällisyyden tai laadun mittaamiseen.

Asiakastyytyväisyyden Nathanail kuvaa muodostuvan sekä koetun palvelun, että siitä saadun mielikuvan perusteella. Tämän perusteella voidaan todeta, että myös täsmälli-



syyskuvaan tulee vaikuttaa ja sitä aktiivisesti luoda tietynlaiseksi. Artikkelissa viitataan asiakastytyvyyden ja laadun mittaamisen käsikirjaan:

- Transportation Research Board. 1999. A handbook for measuring customer satisfaction and service quality. TCRP Report 47.

Täsmällisyys on osa rautatieliikenteen laadun mittaamista. Laadun mittaamista ovat määritelleet useat rautateiden kansainväliset organisaatiot, kuten UIC (International Union of Railways), CER (Community of European Railway and Infrastructure Companies) ja CIT (International Rail Transport Committee).

Yleisenä mittarien puutteena koko Euroopassa on Nathanailin mukaan tavoitteiden puuttuminen. Hänen mukaansa tavoitteiden asettaminen parantaa laatua kokonaisuutena, jolloin yhtä osa-aluetta ei paranneta toisen kustannuksella. Kirjoittaja esittääkin laatumittareihin asetettavia tavoitteita ja niihin sidottuja kompensatioita matkustajille esimerkiksi hinnanalennuksina, mikäli laututavoitteet eivät täyty. Kompensatiot tulisivat laatumittaristoon asiakastytyvyyden mittareista, jossa muun muassa aikataulujen luotettavuus olisi yksi kriteereistä. Asiakastytyvyyden mittaamisen toteuttamisesta hän mainitsee esimerkkinä Britannian puolueettoman viranomaistahon.

Asiakastytyvyyden mittareihin sisältyy suorituskvyn mittareita. Useassa maassa on tämäntyyppisiä mittaristoja jo käytössä, esimerkkeinä Slovenia, Singapore ja Espanja. Mittaristoa on mahdollista painottaa niin, että merkittävimmät asiat saavat siinä enemmän painoarvoa.

Erillisenä tapaustutkimuksena artikkelissa kuvataan suorituskvyn arviointiin rakennettua mittaria ja sen toteutusta Kreikan rautateillä (Hellenic Railways). Kreikassa otettiin käyttöön kuusi suorituskvya arvioivaa kriteeriä, joista yksi kuvasi aikataulujen tarkkuutta. Kuitenkin myös tässä mittaristossa aikataulujen tarkkuus laskettiin toteumatiedon avulla junien kulkutiedoista. Asiakkaiden kokemusten avulla koottavaa tietoa pidettiin liian epävarmana. Nathanailin mukaan asiakashaastatteluiden avulla ei olisi pystytty muodostamaan kokonaiskuvaa nykytilanteesta, sillä matkustajan kokemukset ovat yksittäisiä ja usein niiden toistumistiheys on harva.

Aikataulun tarkkuutta tai täsmällisyyttä arvioitiin laadun mittaristossa arvosanoin 1–10. Arvosanan 10 sai, mikäli pitkänmatkainen juna saapui asemalle maksimissaan 10 minuuttia myöhässä tai lähiliikenteen juna maksimissaan 5 minuuttia myöhässä. Tällaisella mittarilla tulokseksi saatiin, että aikataulujen täsmällisyyden suhteen Kreikan rautatiet saavat erinomaisen arvosanan. Tuloksen suhteen voitane esittää kritiikkiä, sillä artikkelissa esitetään, että juuri tällä asialla on eniten painoarvoa matkustajille, mutta silti sitä on mitattu junan kulkutietojen avulla ja johtopäätöksenä saatu erinomainen tulos. Artikkelissa ei mittaristoa kohtaan ole esitetty kritiikkiä.

Laadun mittaristoa Nathanail pitää kuitenkin erittäin tärkeänä ja hyödyllisenä työkaluna johdolle. Artikkelissa kuvattu mittaristo on ollut käytössä vuoteen 2006 mennessä kolme vuotta ja tuolloin suunnitelmissa on ollut sen implementointi osaksi operaattorin kehiteillä olevaa laatu järjestelmää.

Artikkelissa viitataan useaan täsmällisyyden mittaamista sivuavaan artikkeliin, muun muassa seuraaviin:

- European Committee for Standardization (CEN). 2002. Transportation – Logistics and services – public passenger transport – service quality definition, targeting and measurement.
- Monami, E. 2000. Quality regulation in passenger rail transport: The way forward. *International Journal of Transport Economics*, Vol. 27 Issue 3, p. 355–379.
- Passenger Focus. 2007. National passenger survey. Rail Passengers Council ([www.passengerfocus.org.uk](http://www.passengerfocus.org.uk)).
- Stradling, S. & Anable, J. & Carreno, M. 2007. Performance, importance and user disgruntlement: a six method for measuring satisfaction with travel modes. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 41, Issue 1, p. 98–106.
- Transportation Research Board. 1999. A handbook for measuring customer satisfaction and service quality. TCRP Report 47.

### 7.5.3 Aikataulun luotettavuuden mittausmenetelmiä

CAREY. JOURNAL ARTICLE 1999.

#### EX ANTE HEURISTIC MEASURES OF SCHEDULE RELIABILITY

Carey (1999) kuvaa täsmällisyyden ennustettavuuteen soveltuvia mittausmenetelmiä. Otsikkonsa mukaan siinä käsitellään heuristisia mittareita, jollainen nykyisin Suomesakin käytössä oleva mittari on. Artikkelissa kuitenkin tarkastellaan erityisesti ennakointiin käytettäviä mittareita ja verrataan niiden käyttömahdollisuuksia simuloinnin yhteydessä. Menetelmiä täsmällisyyden ennakointiin on kahdentyyppisiä, sellaisia, joissa tarvitaan tietoa viiveiden todennäköisyyksistä tai sellaisia, joissa kyseistä tietoa ei tarvita.

Mittareilla tarkastellaan erikseen primäärisiä ja sekundäärisiä viiveitä, sillä aikataulusuunnittelun yhteydessä sekundääriset viiveet kiinnostavat enemmän. Ennakoivia täsmällisyysmittareita voidaankin käyttää juuri silloin kun tarvitaan nopeammin ja simulointia kevyemmin tietoa aikataulumuutosten vaikutuksesta luotettavuuteen ja täsmällisyyteen.

Carey esittää täsmällisyyden mittaamisen tuottavan tärkeää tietoa niin rautateiden suunnitteluun, johtamiseen, hallintaan, liikennöintiin ja näiden palveluiden markkinointiin. Asiakkaat puolestaan käyttävät täsmällisyystietoa matkan suunnittelussa. Täsmällisyystietoa käytetään myös palvelun laadun tarkkailuun ja usein täsmällisyystiedon tuottaminen perustuu määräykseen tai on lain vaatimus. Esitettyjä mittareita voidaan käyttää esimerkiksi tarkasteltaessa aikataulumuutosten vaikutuksia tai pohdittaessa häiriötilanteen vaihtoehtoisia purkamistapoja.

Täsmällisyyden mittaamiseen käytetään useita menetelmiä, joista heuristiset ja ad hoc-menetelmät ovat yleisimpiä. Simulointimenetelmät puolestaan ovat menetelmänä aikaa vieviä ja analyttiset menetelmät taas soveltuvat ainoastaan yksinkertaisille järjestelmille. Täsmällisyyttä ennalta arvioivat mittausmenetelmät perustuvat todennäköisyyksiin, odotettaviin myöhästymisiin tai väylän ominaisuuksiin ja laskenta tapahtuu matemaattisten kaavojen avulla. Matemaattisten mallien avulla voidaan laskea muun muassa



junan oman myöhästymisen suuruutta sekä sekundäärisiä myöhästymisiä samoin kun yhdessä näitä molempia. (Carey 1999)

Matemaattisten mallien avulla pystytään mittaamaan myös liikenteen luotettavuutta eli sitä, mikä on todennäköisyys, että juna saapuu halutun aikavälin sisällä suunnitellusta, esimerkiksi 5 tai 10 minuuttia myöhässä. Ennustavat laskentamenetelmät käyttävät hyväkseen täsmällisyyden toteumatietoa, kuten maksimimyöhästymisiä ja keskimääräisiä myöhästymisiä. Täsmällisyyden mittaaminen aikataulun toteumatiedon perusteella on periaatteiltaan hyvin yksinkertaista. Liikenteen suunnittelijoiden kannalta olisi kuitenkin hyödyllisempää pystyä ennakoimaan täsmällisyyttä, erityisesti aikataulusuunnittelussa ja suunniteltaessa muutoksia tai uudistuksia palveluissa. Täsmällisyyden mittaamisen tarpeet ovat siis hyvin laajat ja erilaisia mittareita tarvitaan, niin ennakoivaa tietoa tarjoavia samoin kuin entistä tarkempia toteumatiedon mittareita. Käytännössä täsmällisyydsmittarit ovat melko jalostamattomia ja karkeita.

Carey (1999) toteaa, että mittareista ja niiden ominaisuuksista ei juurikaan keskustella vaikka tuloksia kyllä tarkastellaan. Hän myös kirjoittaa, ettei ennakoivista täsmällisyyttä arvioivista menetelmistä ole juurikaan julkaistua tutkimusta, mutta samaan aikaan rautatieliikenteen operaattorit tuottavat paljon julkaisematonta täsmällisyystietoa.

Artikkelissa viitataan muun muassa seuraaviin julkaisuihin:

- Chen, B.T. & Harker, P.T. 1990. Two moments estimation of the delay on single-track rail lines with scheduled traffic. *Transportation Science*, Vol. 24, Issue 4, p. 261–275. (Chen & Harker 1990)
- Dejax, P. & Bookbinder, J.H. 1991. Goods transportation by the French National Railway (SNCF): the measurement and marketing of reliability. *Transportation Research*, Vol. 25, Issue 4, p. 219–225. (Dejax & Bookbinder 1991)

#### **7.5.4 Myöhästymisten mittaamista käsitteleviä muita julkaisuja**

Tehtyjen hakujen avulla löytyivät myös seuraavat artikkelit, joissa pääpaino muualla kuin täsmällisyyden mittaamisessa, mutta joista on haluttu nostaa mittaamista käsitteleviä asioita myös tähän lukuun.

VROMANS & DEKKER & KROON. JOURNAL ARTICLE 2006.

#### **RELIABILITY AND HETEROGENEITY OF RAILWAY SERVICES**

Artikkelissa todetaan, että täsmällisyys on yksi laajimmin käytössä oleva luotettavuuden mittari ja artikkelissa kuvatussa tapauksessa täsmällisyyttä mitataan junien aikataulun mukaisiin saapumisaikoihin verrattuina myöhästymisminuutteina. Vromans et al. (2006) toteavat, että olisi mahdollista mitata täsmällisyyttä myös matkustajien myöhästymisten avulla. Artikkelin pääpaino on aikataulusuunnittelussa, mutta kirjoittajat olivat tarkastelleet hiukan myös täsmällisyyden ja luotettavuuden teoriaa.

CAVANA & CORBETT & LO. JOURNAL ARTICLE 2007.

#### **DEVELOPING ZONES OF TOLERANCE FOR MANAGING PASSENGER RAIL SERVICE QUALITY**

Cavana et al. (2007) tarkastelevat SERVQUAL-nimistä laadun seurantaan tarkoitettua työkalua, jonka avulla voidaan seurata laatua yhtenä osana liikenteen luotettavuutta.

Tätä kautta myös täsmällisyyden ja ylipäättään suorituskyvyn mittaaminen on artikkeleissa esillä.

Artikkelissa todetaan, että perinteisesti julkisessa liikenteessä suorituskyvyn mittarit on jaettu kahteen ryhmään; tehokkuuteen (*efficiency*) ja hyödyllisyyteen (*effectiveness*). Tehokkuuden avulla mitataan palveluja tuottavia toimintoja, kun taas hyödyllisyyden käsitteen alla mitataan kuinka hyvin palvelut pääsevät tavoitteisiinsa. Artikkelia on tarkasteltu tarkemmin palvelun laatua käsittelevän teeman yhteydessä luvussa 8.3.1.

OLSSON & HAUGLAND. JOURNAL ARTICLE 2004.

#### **INFLUENCING FACTORS ON TRAIN PUNCTUALITY – RESULTS FROM SOME NORWEGIAN STUDIES**

Täsmällisyyttä on usein mitattu itsenäisellä mittarilla, jossa käytetään ennalta määritettyjä ja hyväksyjä rajahtoja poikkeamille. Viiveellä tai myöhästymisellä tarkoitetaan negatiivista poikkeamaa aikataulusta. Viivettä mitataan ajan avulla, mittayksikkönä on minuutti. Täsmällisyyden mittaaminen on määritelmänsä mukaan mahdollista kaikissa pisteissä, joille on määritelty aikataulunmukaiset saapumis- tai lähtöajat. Ei siis ainoastaan määränpäässä, vaikka tämä onkin hyvin yleinen tapa. Aikataulussa edellä ajavia juna ei yleisesti ole pidetty epätäsmällisinä. (Olsson & Haugland 2004)

Täsmällisyyden mittareiden lisäksi myöhästymisiä mittaavat myös säännöllisyyden (*regularity*) mittarit. Säännöllisyys kuvaa sitä, kuinka moni juna todellisuudessa liikennöi verrattuna aikatauluun suunnitelluista. Tämän johdosta osassa rautatieliikenteen suorituskymittareista on säännöllisyyden ja täsmällisyyden mittaukset yhdistettyinä. Täsmällisyyden laskennan perustana on usein täsmällisesti asemalle saapuvien junien prosenttiosuus kaikista junista. (Olsson & Haugland 2004)

RIETVELD & BRUINSMA & VAN VUUREN. JOURNAL ARTICLE 2001.

#### **COPING WITH UNRELIABILITY IN PUBLIC TRANSPORT CHAINS: A CASE STUDY FOR NETHERLANDS**

Rietveld et al. (2001) luettelevat seuraavia rautatieliikenteen täsmällisyyden mittaustapoja:

- todennäköisyys, että juna saapuu x minuuttia myöhässä
- todennäköisyys ennenaikaiselle lähdölle
- odotetun saapumisajan ja aikataulunmukaisen saapumisajan keskimääräinen ero
- keskimääräinen myöhästyminen määränpäässä
- keskimääräinen myöhästyminen määränpäässä kun juna saapuu yli x minuuttia myöhässä
- saapumisaikojen keskihajonta.

ELMS. JOURNAL ARTICLE 1998.

#### **DEFINING AND MEASURING SERVICE AVAILABILITY FOR COMPLEX TRANSPORTATION NETWORKS**

Elms (1998) määrittelee käytössä olevan liikennejärjestelmän palvelun saatavuuden mittaustavat ja analysoi tiedon keruuseen ja laskentaan soveltuvia menetelmiä. Palvelun saatavuus on artikkelissa määritelty suorituskyvyn mittauksena, jossa otetaan huomioon



luotettavuus ja kunnossapidettävyys. Toisaalta artikkelissa tarkastellaan myös kompleksisemmille verkoille soveltuvia laadun saatavuuden määritelmiä.

TROTTER. JOURNAL ARTICLE 1987.

#### **MEASURING THE QUALITY OF SERVICE: A NOTE ON BRITISH RAIL'S 'Q-STATISTIC'**

Trotter (1987) esittelee jo hiukan vanha matkustajien aikataulujen laadun mittarin (Q). Tätä Q-tilastoa pidetään hyödyllisenä keinona kuvata aikataulun merkittävimpiä ominaisuuksia.

NYSTRÖM

Tietokannoista löytyneiden hakujen lisäksi täsmällisyyden mittaamista rautatie-liikenteessä on käsitelty muun muassa Birre Nyströmin opinnäytetöissä sekä tutkimus-raporteissa:

- Nyström, Birre. 2005. Punktlighet, Forskningsrapport, Luleå Tekniska Universitet. 2005:11
- Nyström, Birre. 2005. Punctuality and Railway Maintenance. Licentiate Thesis 2005:41, Luleå University of Technology, Department of Applied Physics and Mechanical Engineering.
- Nyström, Birre 2008. Aspects of Improving Punctuality. From data to decision in railway maintenance. Doctoral thesis. Luleå University of Technology 2008:11.

#### **7.5.5 Yhteenvedo ja johtopäätökset**

Täsmällisyyden ja viiveiden mittaaminen esiintyy ainoana tutkimuskysymyksenä vain muutamissa julkaisuissa. Tämän kirjallisuuskatsauksen perusteella voidaan todeta, että aihetta on tutkittu toistaiseksi vähän, ainakin tieteellisessä mielessä. Myös kirjallisuudesta löytyi viitteitä siitä, että käytännön kehitystyössä aihetta on kuitenkin selvitetty. Täsmällisyyden mittaamiseen liittyvää kehitystyötä onkin voitu tehdä ja siitä raportoida, mutta vähemmän tieteellisessä tarkoituksessa, jolloin nämä julkaisut eivät päätyneet tähän katsaukseen.

Täsmällisyyden mittaamista on tarkastelluissa artikkeleissa käsitelty usein osana laadun mittaamista, muun muassa Cavana et al. (2007) ja Nathanail (2008) kuvaavat täsmällisyyden osana laadun mittaristoja. Riippumatta siitä, missä yhteydessä täsmällisyyttä mitataan, on sitä tyypillisemmin mitattu junien saapumisaikojen kautta. Tämä on todettu useissa artikkeleissa yleiseksi tavaksi mitata täsmällisyyttä.

Mittaustapojen yhtenäisyys tunnistetaan kirjallisuudessa. Perusteet ovat samankaltaisia, vaikka pieniä eroja löytyykin. Esiin nousee myös se, että mittaustavoissa on puutteita, joista puhutaan vain vähän ja joita ei ole tutkittu juurikaan. Voidaan siis todeta, että täsmällisyyttä mitataan, joskin osin puutteellisin menetelmin. Toinen puute, joka kirjallisuudesta havaittiin, oli mittaristoon sidottujen tavoitteiden puuttuminen. Mittaustulosten hyödyntäminen kaiken kaikkiaan on puutteellista, vaikka täsmällisyyden mittaustuloksilla nähdään olevan potentiaalia niin viestinnän, johtamisen kuin markkinoinninkin tukena. Erityisesti täsmällisyyden mittaamisen merkitys markkinoinnissa nousi kirjallisuudessa usein esiin.

Mittariston tarjoaman tiedon hyödyntämistä ei läpikäydyissä julkaisuissa tarkasteltu niinkään, ainakaan erityisesti täsmällisyyden osalta. Yhtenä tärkeänä asiana tuli esille täsmällisyysmittauksista viestintä, josta osuvasti kirjoittivat muun muassa Gelders et al. (2008). Täsmällisyyden mittaustulokset nähdään tuloksena, josta tulisi viestiä ulospäin.

Matkustajien huomioon ottamista osana täsmällisyyden mittausta on sivuttu useassa artikkelissa. Tämä on tosin mainittu vain ohimennen ja todettu, että näinkin voitaisiin tehdä. Tutkimusta, jossa matkustajien kokemiin viiveisiin pohjautuvia täsmällisyysmittareita olisi kehitetty tai kokeiltu ei käytännössä juuri ole. Muutamissa artikkeleissa on viitattu yksityisten asiakastytyvääsyyttä seuraavien organisaatioiden tekemiin mittauksiin, joissa täsmällisyydestä on kysytty asiakkailta. Tällaisesta on esimerkkinä Passengerfocus (<http://www.passengerfocus.org.uk/about-us/>).

Kirjallisuuskatsaukseen sisältyvien julkaisujen perusteella voidaan todeta, että täsmällisyyden mittaamista tulisi parantaa ja tulosten hyödynnettävyyttä lisätä. Tuoreimmissa artikkeleissa puhutaan jo matkustajien kokemasta myöhästymisestä, mutta yleisesti täsmällisyyttä mitataan viiveinä junien saapumisista määräasemille. Kritiikkiä tämän tyyppisiä mittareita kohtaan on osoitettu vähän. Suunta täsmällisyyden mittaamisessa ja usein kokonaislaadun seurannassa näyttäisi kuitenkin olevan kohti matkustajien huomioon ottamista.

Täsmällisyyden mittaamista käytännössä on tarkasteltu niin kotimaassa kuin ulkomaillakin Ratahallintokeskuksen julkaisuissa *Rautatieliikenteen täsmällisyyden mittaaminen* (Salkonen 2008) ja *Aikataulusuunnittelu ja rautatieliikenteen täsmällisyys* (Mukula 2008). Näissä julkaisuissa on tehty myös kirjallisuuskatsaus niissä käsiteltyihin aiheisiin. Täsmällisyyttä ja sen mittaamista tarkastellaan usein aikataulusuunnittelun yhteydessä; näin tekee myös Mukula (2008).

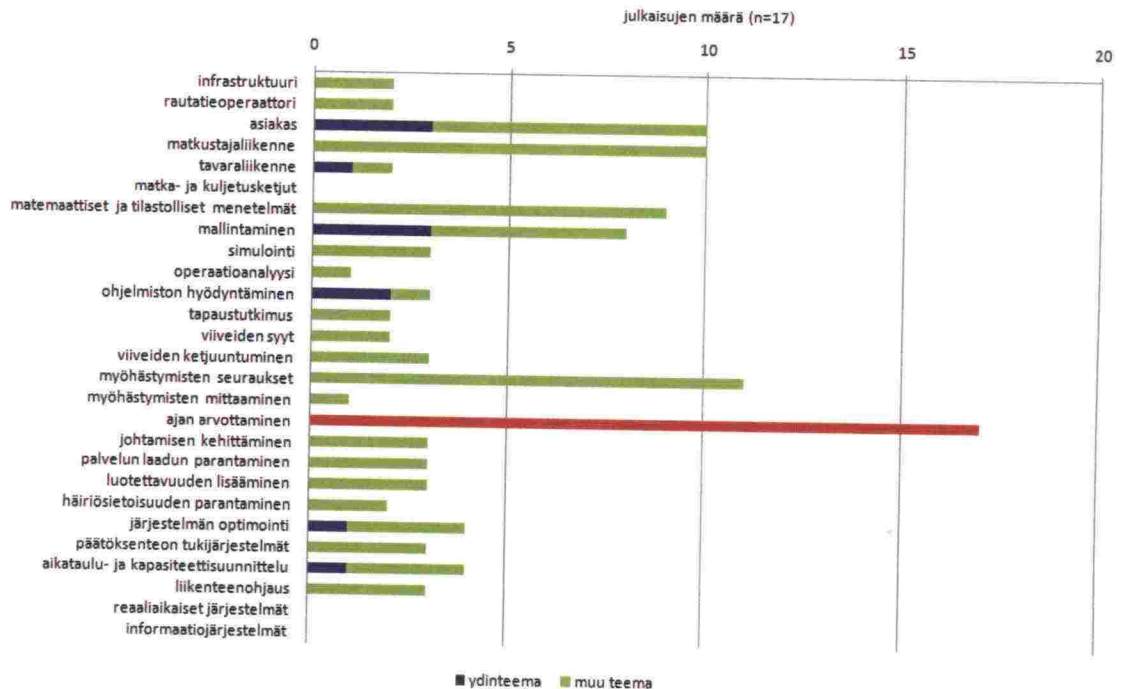
## 7.6 Ajan arvottaminen

Täsmällinen rautatieliikenne voidaan ymmärtää liikenteenä, joka kulkee aikataulun mukaan. Epätäsmällisyys ilmenee silloin poikkeamina aikataulusta. Poikkeamat aikataulusta aiheuttavat seurauksia, joista yksi on matka-ajan kasvaminen. Matka-ajalle voidaan määrittää arvo.

Ajan arvolla (*value of time*) on tässä rautatieliikenteen täsmällisyyttä kartoittavassa tutkimuksessa tarkoitettu ajan rahassa mitattavaa arvoa, joka matkustajalla tai tavaralla on olemassa. Epätäsmällisyyden ajan arvo kuvaa siis myöhästymisen aiheuttaman ajan menetyksen kustannuksia.

Julkaisuja, jotka käsittelevät ajan arvoa, löytyi kirjallisuushaussa yhteensä 64. Niissä näkökulma vaihteli työmatkojen ajan arvosta kapasiteetin määrittämään ajan arvoon. Näistä julkaisuista 17 oli sellaisia, joissa käsiteltiin pääteamana ajan arvoa, kun lopuissa julkaisuissa tätä aihetta käsiteltiin jonkin muun teeman yhteydessä. Kuvassa 7.5 on esitetty niiden 17 julkaisun, joissa ajan arvo oli pääteema, suhde muihin luokiteltuihin teemoihin.





Kuva 7.5 Ydinteeman AJAN ARVOTTAMINEN kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat.

Kuvasta 7.5 nähdään, että ajan arvoa ja myöhästymisen seurauksia käsitellään samoissa julkaisuissa. Tämä selittyy sillä, että täsmällisyystutkimuksessa myöhästymisen seurauksena menetetään aikaa, jolla on arvoa. Nämä teemat ovat myös käytännössä hyvin lähellä toisiaan. Ajan arvon näkökulma on myös täsmällisyysjulkaisuissa, jossa selvitetään asiaa asiakkaiden ja matkustajaliikenteen näkökulmasta. Samat havainnot nousevat esiin myös julkaisujen analyysissä.

Raportin liitteenä on luettelo ajan arvottaminen -teemaa käsittelevistä julkaisuista. Mukana on 46 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus).

Aihepiirin julkaisuista on seuraavassa esitelty tarkemmin muutamia sellaisia, joissa pääasiallisena teemana oli ajan arvon määrittäminen erityisesti epätäsmällisyyteen liittyen.

### 7.6.1 Luotettavuuden arvottaminen matkustajaliikenteessä

BATES & POLAK & JONES & COOK. JOURNAL ARTICLE 2001.  
THE VALUATION OF RELIABILITY FOR PERSONAL TRAVEL

Bates et al. (2001) lähestyvät rautatieliikenteen luotettavuutta matkustajaliikenteen näkökulmasta ja kuvaa luotettavuuden teoriaa ja luotettavuuden arvon matkustajille ajan arvon avulla. Artikkelin tarkastelee matkustamista laajemmin julkisessa liikenteessä, mutta käsittelee tapaustutkimuksessaan erityisesti rautatieliikenteen luotettavuuden arvoa.

Joukkoliikenteen kirjoittajat kuvaavat eroavan henkilöautoliikenteestä siinä, että joukkoliikenteessä liikutaan aikataulun mukaan, jolloin matkaan liittyy odotusaika ja

saapumisajankohta on tarkasti etukäteen tiedossa. Aikataulu mahdollistaa sen, että matkustaja pystyy seuraamaan matkansa toteutumaa ja havaitsemaan epäluotettavuuden, myös siinä tapauksessa, että juna tai muu kulkuväline olisi tilastollisesti saapunut aikataulussa.

On havaittu, että koettu matka-ajan vaihtelu on merkittävä ja epähoukutteleva tekijä matkustajille. Merkittävänä matka-ajan vaihtelua pidetään kahdesta syystä: Ensimmäiseksi Bates et al. nostavat esille sen, että matkustajat kokevat matka-ajan vaihtelun aiheuttamat seuraukset huomattaviksi ja ovat herkkiä niiden suhteen. Matkustajat odottavat joukkoliikennepalveluilta maksimaalista hyötyä, eli valitsevat kulkumuotonsa sen mukaan, missä pystyvät maksimoimaan palvelusta saatavan hyödyn arvon. Toinen tekijä, minkä johdosta matka-ajan vaihtelulla on merkitystä, on matkustajien matka-ajan vaihtelulle antama arvo. Se voi koostua esimerkiksi puhtaasti siitä, kuinka ärsyntyneitä matkustajat ovat, mikäli palvelu ei toteudu aikataulun mukaisesti.

Bates et al. (2001) kuvaavat aiemmissakin tutkimuksessa esiin tullutta matka-ajan vaihteluun liittyvää ilmiötä. Matemaattisesti voidaan osoittaa, että mikäli matka-ajassa ei ole vaihtelua, matkustajat valitsevat lähtöaikansa niin, että he saapuvat määräkohteeseensa optimaaliseen aikaan. Koska vaihtelua kuitenkin ilmenee, ei lähtöaikaa voida valita yksin ideaalin matka-ajan perusteella. Siihen lisätään arvio mahdollisesta matka-ajan vaihtelusta ja lähdetään tämän verran aikaisemmin. Mitä parempi on matkustajan tietämys matka-ajan vaihtelusta, sitä optimaalisempi on hänen lähtöaikansa.

Artikkelissa on matemaattisesti tarkasteltu sitä kuinka palvelun luotettavuus ja aikataulun vaihtelevuus vaikuttavat matkustajien lähtöaikaan, millaisia ovat matkustajien odotusajat tai niiden vaikutukset matkan kokonaisaikaan sekä saapumistäsmällisyyteen. Tämän lisäksi on selvitetty matka-ajan luotettavuuden arvoa. Tarkastelun kohteena ovat useimmiten myöhästymiset määränpäässä, mutta matkustajat voivat kokea aikataulun poikkeamia jo matkan aikana. Matkustajien ei nähdä välittävän poikkeamista, mikäli he saapuvat etuajassa, mutta selkeästi he vastustavat myöhästymistä määränpäässä.

Luotettavuuden rahallista arvoa kirjoittajat toteavat voitavan mitata samoin perustein kuin nykyisin mitataan matka-ajan säästön arvoa. Luotettavuudella kuvataan sekä tapahtuman todennäköisyyttä että sen suoria seurauksia. Näistä merkityksistä usein toinen jää tarkasteluissa ottamatta huomioon. Yhtenä ongelmana luotettavuuden arvon määrittämisessä ja tiedon jakamisessa kirjoittajat näkevät sen, että tiedot eivät ole julkisia. Tutkimuksessa ei esitä konkreettisia tuloksia luotettavuuden arvon määrittämisestä, sillä rautatieoperaattorit ovat määritelleet nämä tiedot luottamuksellisiksi.

Bates et al. (2001) esittävät kritiikkiä myös tapaan, jolla täsmällisyyttä kuvataan. Hänen mukaansa ihmisten on vaikea hahmottaa mitä tarkoittaa: *10 % junista on 20 minuuttia myöhässä*. Osa ymmärtää tämän niin, että loput 90 % on kulkenut matkansa juuri ajallaan, kun taas osa ymmärtää, että mikään juna ei ole yli 20 minuuttia myöhässä. Ilmaisua voidaan lukea myös niin, että 10 % junista on vähintään 20 minuuttia myöhässä. Ilmaisua ei siis ole yksiselitteinen.

Perinteisesti on esitetty saapumisaikojen jakauma aikatauluun nähden; on siis seurattu aikataulun toteutumista. Seuranta ei kuitenkaan ole ollut, eikä tämän johdosta ole voitu



vertaillakaan, todellisia saapumisaikoja toivottuihin saapumis- tai lähtöaikoihin. Ei siis ole verrattu siihen mitä matkustajat haluavat.

On havaittu, että erisuuriset myöhästymiset vaikuttavat eri lailla. Junaliikenteen satunnaiset käyttäjät eivät havaitse muutaman minuutin myöhästymisiä, sillä heillä ei ole tarkkaa tietoja junamatkan kestosta. Tämän perusteella kirjoittajat ehdottavat, että täsmällisyys voitaisiin esittää prosenttiosuutena junista jotka saapuvat asemalle  $T$  minuuttia myöhässä.  $T$  määritetään kyselytutkimuksella sen perusteella kuinka myöhästymisen pituus vaikuttaa siitä koettuun haitaan.

Matkustajien on havaittu pitävän enemmän pidemmistä matka-ajoista kuin lyhyemmästä matka-ajasta yhdistettynä matka-ajan ylitykseen. On osoitettu, että myöhästymisminuutin haitta koetaan suuremmaksi kuin matka-aikaan lisätyn minuutin. Eli matka, jonka kesto on 30 minuuttia ja myöhästymisen 6 minuuttia koetaan vaikutuksiltaan samanarvoiseksi kuin matka, jonka kesto on 32 minuuttia ja myöhästymisen 5 minuuttia. (Bates et al. 2001)

Tutkimuksessa yhtenä havaintona tuli esille se, että junamatkustajat osallistuessaan matkustusajan luotettavuutta selvittävään kyselyyn protestoivat julkisen liikenteen epätasällisyyttä ja liioittelivat myöhästymisten negatiivisia seurauksia. Tapaustutkimuksen tuloksena on pystytty laskemaan luotettavuudelle arvo, eli määritetty kuinka paljon epäluotettavuus maksaa minuutilta. Tutkimuksessa todetaan kuitenkin, että määritetty arvo on herkkä niin myöhästymisten jakauman suhteen kuin keskimääräisen myöhästymisenkin suhteen.

Kirjoittajat toteavat, että täsmällisyydellä on selkeästi suuri arvo junamatkustajille ja että aihetta tulisi tutkia lisää, vaikka jonkin verran teoriaa ja käytäntöä yhdistävää tutkimusta onkin jo tehty.

Artikkelissa viitataan muun muassa seuraaviin julkaisuihin:

- Bates, J.J. & Jones, P. & Polak, J. & Han, X-L. 1997. The investigation of punctuality and reliability: re-analysis of some existing data sets. Report submitted to Rail Operational Research, January 1997.
- Bruzelius, N. 1979. The value of travel time. Croom Helm, London.
- Lam, T. & Small, K. 2001. The value of time and reliability: Measurement from a value pricing experiment. Transportation Research Part E, Vol. 37, Issue 2–3, p. 231–251.
- The MWA Consultancy & ITS University of Leeds. 1989. Network southeast quality of service. Prepared for Network South East, British Railways Board.
- Small, K.A. 1982. The scheduling of consumer activities: work trips. American economic review, Vol. 72, p. 172–181.

Esitellyssä artikkelissa viitataan myös teemoihin asiakkuus ja luotettavuus, joten tämä artikkeli on otettu huomioon myös käsiteltäessä kyseisiä aihealueita.

### 7.6.2 Rautatieliikenteen kysynnän ja hinnoittelun arviointi käyttäytymismallin avulla

NUZZOLO & CRISALLI & GANGEMI. JOURNAL ARTICLE 2000.

#### A BEHAVIOURAL CHOICE MODEL FOR THE EVALUATION OF RAILWAY SUPPLY AND PRICING POLICIES

Nuzzolo et al. (2000) tarkastelevat eri matkustajaryhmien ajan arvoa ja esittelevät mallin, jonka avulla voidaan simuloida erilaisten palvelutekijöiden merkitystä keski- ja pitkänmatkaisessa rautatieliikenteessä. Mallissa otetaan huomioon yhtenä tekijänä epätasällisyys ja siitä aiheutuvat kustannukset. Malli tukee operatiivista markkinapainotteista suunnittelua, kuten aikataulutusta tai hinnoittelupolitiikkaa. Malli on rakennettu analysoimaan rautatieliikenteen palvelun muutoksia suorituskyvyn ja hinnoittelun avulla. Siinä otetaan huomioon, että aikataulutetun junan houkuttelevuus on riippuvainen halutun saapumisajankohdan sopivuudesta. Asiakkaat on mallissa otettu huomioon ja kuvattu ominaisuuksiensa perusteella 1620 markkinasegmentissä. Jakoperusteena on ollut muun muassa matkan tarkoitus, toivotut saapumis- ja lähtöajat sekä kotitalouden tulotaso.

Matkustajien käyttäytymistä kuvaava malli on kalibroitu muun muassa matkan tarkoituksesta ja sosioekonomisista tekijöistä käyttämällä matkustajamäärän laskentaa (otos 50 000) sekä kyselyotantaa asemilla (otos 10 000). Mallin testauksessa havaittiin, että ajan arvolla on yhteys matkan tarkoitukseen ja ajan arvo vaihtelee eri tuloluokissa. Ajan arvon merkitys on suurempi keski- ja suurituloisten luokassa kuin matalatuloisten ryhmässä. Tämän merkittävän eron perusteluina pidetään sitä, että matalatuloisten ryhmään kuuluvilla työmatkojaan rautateillä tekevillä tulot ovat pienempiä kuin muilla kulkumuodoilla tekevillä keskimäärin.

Mallin testauksessa havaittiin symmetriaa myöhästymisten negatiivisista vaikutuksista. Menomatalla saapumismyöhästymisen koettiin suuremmaksi haitaksi kuin etuajassa saapuminen. Paluumatkalla puolestaan etuajassa lähtö koettiin suuremmaksi haitaksi kuin myöhässä lähtemisessä. Epätasällisyyden haittavaikutukset ovat suhteessa myös matkan pituuteen. Lyhyemmällä matkalla myöhästymisen koetaan suuremmaksi haitaksi kuin pidemmällä matkalla.

Mallin avulla voidaan laskea todennäköisyyksiä junan valinnalle muun muassa poistuneiden, kyydissä olevien sekä kyytiin nousevien matkustajien avulla. Sillä on mahdollista tarkastella myös hinnoittelupolitiikan vaikutuksia yhden junan näkökulmasta. Uutta mallissa on, että se mahdollistaa paremmin tarkan matkustajien käyttäytymisen mallintamisen palveluiden ja täsmällisyyden näkökulmasta.

Tässäkin artikkelissa viitattiin usein artikkeliin:

- Small, K.A. 1982 The scheduling of consumer activities: work trips. American economic review, Vol. 72, p. 172–181.

Kyseinen julkaisu vaikuttaa siihen viitanneiden artikkelien perusteella laadukkaalta perusteokselta liittyen aikataulun matkustajille aiheuttamiin vaikutuksiin. Small on kirjoittanut aiheeseen liittyviä tieteellisiä julkaisuja myös tämän jälkeen.



### 7.6.3 *Ajan arvottamista käsitteleviä muita julkaisuja*

GIBSON & COOPER & BALL. JOURNAL ARTICLE 2002.

#### **DEVELOPMENTS IN TRANSPORT POLICY: THE EVOLUTION OF CAPACITY CHARGES ON THE UK RAIL NETWORK**

Gibson et al. (2002) käsittelevät lähinnä ruuhkautuneen rataverkon käytön hinnoittelun ja kapasiteetin käyttöasteen problematiikkaa. Näkökulma poikkeaa edellä esitellyistä artikkeleista. Ajan arvoa ei tarkastella matkustajan näkökulmasta vaan kapasiteetin ja suorituskyvyn kautta. Artikkelissa tarkastellaan myöhästymisistä aiheutuvia kustannuksia sekä rautatieoperaattorin että radanpitäjän näkökulmasta ja pohditaan sanktioiden oikeudenmukaisuutta.

CAREY & KWIECINSKI. JOURNAL ARTICLE 1994.

#### **SWAPPING THE ORDER OF SCHEDULED SERVICES TO MINIMIZE EXPECTED COSTS OF DELAYS**

Carey ja Kwiecinski (1994b) käsittelevät reaaliaikaista aikataulusuunnittelua ja myöhästymisten heijastumista muuhun liikenteeseen. Artikkelissa tarkastellaan niitä kustannuksia, jotka aiheutuvat myöhästymisistä ja sitä kuinka kustannuksia voitaisiin pienentää muuttamalla myöhästyneiden toimintojen järjestystä. Esiteltävän menetelmän avulla tavoitteena on parempi viiveiden hallinta ja aiheutuvien kustannusten minimointi.

RIETVELD & BRUINSMA & VAN VUUREN. JOURNAL ARTICLE 2001.

#### **COPING WITH UNRELIABILITY IN PUBLIC TRANSPORT CHAINS: A CASE STUDY FOR NETHERLANDS**

Rietveld et al. (2001) käsittelevät matkaketjujen luotettavuutta ja myöhästymisiä. Tähän artikkeliin on viitattu useissa julkaisuissa. Artikkelissa on määritetty myöhästymisminuutin arvo; sen mukaan yksi kulkuvälineessä vietetty menetetty minuutti on 0,123 euron arvoinen ja 50 % todennäköisyys myöhästyä 2 minuuttia on puolestaan 0,290 euron arvoinen. Artikkelissa arvioitiin myös matka-ajan lyhenemisen arvoa (7,28 euroa/h) sekä arvoa 50 % todennäköisyydelle myöhästyä 15 minuuttia (2,18 euroa). Täsmällisyyttä on artikkelissa tarkasteltu koko matkaketjun näkökulmasta.

VANSTEENWEGEN & VAN OUDHEUSDEN. JOURNAL ARTICLE 2006.

#### **DEVELOPING RAILWAY TIMETABLES WHICH GUARANTEE A BETTER SERVICE**

Vansteenwegen ja Van Oudheusden (2006) tarkastelevat aikatauluihin suunniteltavaa pelivaraa, jota on käytetty hyväksi simuloinnissa ja haettu sitä kautta odotusajan funktiolle minimiarvoa. Artikkelissa kuvataan graafisesti kustannusten ja pelivaran välinen yhteys ja siihen vaikuttavat komponentit.

Ajan arvoon liittyen artikkelissa on todettu muun muassa, että matkustajapalveluiden arvioinnissa merkittävä rooli on ajalla, jonka matkustajat käyttävät odottamiseen. Artikkelissa on myös todettu, että arvioitaessa ajan arvoa tulee muistaa ottaa huomioon, että odotusajan arvo koetaan usein kaksinkertaiseksi matka-aikaan nähden ja että myös junaan nousemassa olevat matkustajat joutuvat tämän odotuksen kokemaan.

KROES & KOUWENHOVEN & DUCHÂTEAU & DEBRINCAT & GOLDBERG.  
JOURNAL ARTICLE 2007.

**VALUE OF PUNCTUALITY ON SUBURBAN TRAINS TO AND FROM PARIS**

Kroes et al. (2007) esittelevät tutkimusta, jossa kehitetyn menetelmän avulla on investoitu täsmällisyyden parantamiseen. Menetelmä sopii erityisesti lähiliikenteeseen, ja sitä on sovellettu Pariisin metroverkostoon. Artikkelissa tarkastellaan myös tapaustutkimusta täsmällisyyden parantamisesta Pariisin pohjoispuolisella metroalueella. Projektin tuloksena täsmällisyys parani 5 %. Tämä tarkoitti matkustajille noin 4,6 minuutin etua matka-ajassa.

Tutkimuksen mukaan tiedottamisella saavutettiin hyöty, jonka arvo vastaa matka-ajan lyhentymistä 10 minuutilla. Parannuksien tuloksena matka-ajan säästöjen yhteenlasketuksi arvoksi on saatu 31 miljoonaa euroa.

KURRI & SIRKIÄ & MIKOLA. JOURNAL ARTICLE 2000.

**VALUE OF TIME IN FREIGHT TRANSPORT IN FINLAND**

Kurri et al. (2000) toteavat, että liikennehankkeiden taloudellisissa tarkasteluissa ei ole otettu huomioon kuljetettavan tavarahan ajan arvoa. Artikkelissa esitellään tutkimusta, jossa aihetta on selvitetty Suomessa. Rautatieliikenteessä ajan arvo on keskimäärin 0,10 dollaria ja keskimääräisen myöhästymisen arvo 0,5 dollaria tonnilta/tunti. Esitetyt tulokset ovat selkeästi korkeampia kuin vastaavassa selvityksessä Ruotsissa saadut, mutta alhaisempia kuin useissa muissa tutkimuksissa.

Kurri on tutkinut ajan arvoa niin matkustaja- kuin tavaraliikenteessäkin, ja ensimmäiset hänen aihetta käsittelevät julkaisunsa ovat 1990-luvun alusta.

CLAESSON & DAHL & LINDH. MAGAZINE ARTICLE 1989.

**VALUE OF RELIABILITY IN PASSENGER TRAIN OPERATIONS**

Claesson et al. (1989) tarkastelevat täsmällisyyden yhteyttä matkustaja- ja tavaramääriin.

SAKOWITZ & WENDLER. CONFERENCE PROCEEDINGS 2006.

**OPTIMISING TRAIN PRIORITIES TO SUPPORT THE REGULATION OF TRAIN SERVICES WITH THE ASSISTANCE OF ACTIVE AND DEDUCTIVE DATABASES**

Sakowitz ja Wendler (2006) esittelevät menetelmän, jossa liikenteenohjaus perustuu juna- ja yhteyskohtaisesti määritettäviin viiveiden taloudellisiin arvoihin ja näiden kautta tehtävään optimointiin. He toteavat, että tulojen maksimointi on myös rautatieyritysten tavoitteena ja tämän johdosta niiden tulee pyrkiä välttämään viivästymisiä ja varmistamaan aikataulutetut yhteydet. Kirjallisuudessa vähemmän tarkasteltuna piirteenä tekijät esittävät, että samansuuruiset viiveet eri junilla eivät kuitenkaan yleisesti ole samansuuruisia viiveiden aiheuttamilla kustannuksilla mitattuna. Artikkelissa etsitään ratkaisua tähän liikenteenohjaukselle haasteita aiheuttavaan optimointitehtävään.



EVANS & MORRISON. JOURNAL ARTICLE 1997.

**INCORPORATING ACCIDENT RISK AND DISRUPTION IN ECONOMIC MODELS OF PUBLIC TRANSPORT**

Evans ja Morrison (1997) tarkastelevat taloudellisia malleja pääasiassa erilaisten riskien näkökulmasta, mutta myös yllättävien häiriöiden aiheuttamien viiveiden vaikutuksia matkustajien näkökulmasta. Artikkelissa esitellään myös tuloksia kokeilusta, jossa mallia on sovellettu hypoteettiseen rautatiejärjestelmään.

NOLAND & POLAK. JOURNAL ARTICLE 2002.

**TRAVEL TIME VARIABILITY: A REVIEW OF THEORETICAL AND EMPIRICAL ISSUES**

Nolandin ja Polakin (2002) mukaan vuosien saatossa on pyritty useilla teoreettisilla ja empiirisillä tutkimuksilla selvittämään, kuinka matka-ajan vaihtelu vaikuttaa matkustajien käyttäytymiseen. Kirjoittajat käyvät läpi näitä tutkimuksia, ja tekevät niistä synteesin.

TSENG & RIETVELD & VERHOEF. REPORT 2004.

**A META-ANALYSIS OF VALUATION OF TRAVEL TIME RELIABILITY**

Tseng et al. (2004) kuvaavat muun muassa matkustajan päätöksentekoprosesseja ja kulkumuodon valintaa sekä luotettavuuden arvoa.

TSUJI. JOURNAL ARTICLE 2006.

**RAILWAY TIME AND RUBBER TIME - THE PARADOX IN THE JAPANESE CONCEPTION OF TIME**

Tsuji (2006) tarjoaa taustateoriaa ajan arvosta Japanissa. Artikkelin taustoittaa aikakäsitystä Japanissa, rautatieliikenteen täsmällisyyden kärkeä.

FRANCIS-SMYTHE & ROBERTSON. JOURNAL ARTICLE 1999.

**TIME-RELATED INDIVIDUAL DIFFERENCES**

Francis-Smythen ja Robertsonin (1999) artikkeli tarjoaa taustateoriaa ajan arvon erilaisista merkityksistä erilaisille matkustajaryhmille. Kirjoittajat tarkastelevat ajan arvoa yleisesti, eivät erikseen rautatieliikenteessä. Tässä kirjallisuuskatsauksessa on perusteltua olla analysoimatta artikkelia tarkemmin, mutta siihen kannattaa perehtyä tarkemmin mahdollisessa ajan arvoon liittyvässä tutkimuksessa.

**MUITA JULKAISUJA**

Tietokantahakujen avulla löydettiin lisää tähän aihepiiriin liittyvää kirjallisuutta, myös sellaisia artikkeleja, joihin useampi on aiemmin viitannut. Samoin löytyi tutkimusraportteja Suomesta, joiden huomioon ottaminen on jatkossa tärkeää. Myös liikennetalouden käsikirjoista löytyy viitteitä aiheeseen. Aihepiiriä käsitteleviä tekijöitä ja julkaisuja ovat muun muassa

WARDMAN, MARK

- 1997. A review of evidence on the value of travel time in Great Britain.
- 1998. A review of British evidence on the valuations of time and service quality.
- A review of British evidence on time and service quality valuations.

- 2001. Public transport values of time.
- 2001. Inter-temporal variations in the value of time.
- 2004 Public transport values of time.

KURRI, JARI

- 1993. Ajan arvo pitkämatkaisessa matkustajaliikenteessä.
- 1994. Ajan arvo lyhytmatkaisessa matkustajaliikenteessä.
- 1998. Ajan arvottaminen eri liikennemuotojen hankkeissa.

METZ, DAVID

- 2004. Travel time – variable or constant?

HESNER DAVID A.

- 2004. Identifying the influence of stated choice design dimensionality on willingness to pay for travel time savings.

Muut

- Estlander, Katja et al. 1996. Matka-aikojen käyttö joukkoliikennehankkeiden arvioinnissa. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja B 1996:8.
- Kalenoja, Hanna & Hintikka, Sinikka & Häyrynen, Juha-Pekka & Vihanti, Kaisuliina. 2006. Joukkoliikennematkan eri osien painoarvoja. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 32/2006.
- Pesonen, Hannu & Moilanen, Paavo & Tervonen, Juha & Weiste, Henriikka. 2006. Joukkoliikenteen palvelutasotekijöiden arvottaminen. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 36/2006.

#### 7.6.4 Yhteenveto ja johtopäätökset

Ajan arvoa on kirjallisuuden perusteella tutkittu niin kotimaassa kuin kansainvälisesti. Ajan arvon tutkimus on painottunut selvästi matkustajaliikenteeseen ja joukkoliikenteeseen yleisesti. Ainoastaan ajan arvoon rautatieliikenteessä keskittyvää tutkimusta on kirjallisuushakujen perusteella kuitenkin vähemmän. Tavaraliikenteen osalta ajan arvoa on tutkittu selkeästi vähemmän kuin matkustajaliikenteessä.

Monessa tutkimuksessa on pääpaino matka-ajan arvon selvittämisessä ja tämän tiedon hyödyntämistä erilaisen hankkeiden vaikutusten arvioinnissa. Tutkimuksissa tarkastellaan ajan arvoa useimmin aikasäästöjen kautta. Luotettavuuden tai epätasällisuuden vaikutusten kuvaamisessa ei ajan arvoa ole kirjallisuuden perusteella käytetty yhtä laajasti, vaikka yhdessä artikkelissa todetaankin, että ajan arvo määritetään molemmissa tapauksissa hyvin samankaltaisesti. Syy, miksi epätasällisuuden ja luotettavuuden ajan arvoa on käsitelty vähemmän, vaikuttaa olevan siinä, että useissa tutkimuksissa keskitytään yksityiseen henkilöliikenteeseen, jossa ei olla riippuvaisia aikataulusta, jolloin ei synny varsinaista mitattavaa epätasällisyyttä.

Ajan arvo näyttää kirjallisuuskatsauksen perusteella olevan määritettävissä ja esitettävissä euromääräisenä yksinkertaisena lukuna. Edellä luetelluista artikkeleista ei kuitenkaan ole pohdittu sitä, millä muilla tavoin aikaa voi arvottaa kuin rahassa ja millaisia muita arvoja myöhästymisminuuteissa menetetään. Läpikäytyjen artikkelien perusteella on osoitettavissa, että myöhästymisajan arvo on suurempi kuin matka-ajan,



eli epätasällisyys koetaan epämiellyttävämpänä kuin matkustaminen. Artikkeleista käy selvästi ilmi myös se, että ajan arvoa mitattaessa matkustajat eivät ole homogeeninen joukko. Heidät voidaan jakaa jopa yli tuhanteen ominaisuuksiltaan erityyppiseen luokkaan, joissa ajan arvottaminen on erilaista. Eroja erilaisten matkustajien lisäksi on havaittavissa eripituisilla matkoilla.

Artikkeleista suurin osa keskittyi matkustajien ajan arvon käsittelyyn. Joukossa oli myös artikkeli, jossa käsiteltiin ajan arvoa väylälle tai rautatieoperaattorille esimerkiksi kaluston tai palkkakustannusten kautta. Tätä näkökulmaa käsiteltiin kirjallisuuskatsauksen artikkeleissa vain vähän. Ajan arvoa on tutkittu Suomessa ja ulkomailla erityisesti matka-ajan arvon osalta. Tutkimusta aikataulutetun liikenteen aikataulupoikkeamien, myöhästymisten, ajan arvosta on kuitenkin vähemmän. Olisi tarpeen tarkastella sitä, kuinka paljon muun muassa myöhästymiset maksavat rautatieoperaattorille tai radanpitäjälle, eli millainen arvo myöhästymisminuuteilla on kokonaisuudessa.

Ajan arvottamista käsittelevässä tutkimuksessa on usein hyödynnetty *stated preference*-menetelmää, jossa ihmisiltä kysytään, kuinka he käyttäytyisivät vaihtoehtoisissa tilanteissa. Menetelmä on enemmän joukko erilaisia lähestymistapoja kuin tarkasti noudatettava menetelmä. Asiakkaiden ajan arvon selvittämiseen se näyttää kirjallisuuden perusteella sopivan hyvin.

## 8 KEHITYSTAVOITTEET, JOITA TÄSMÄLLISYYSTUTKIMUS PALVELEE

### 8.1 Kehitystavoite-teemaryhmän tutkimus

Tässä luvussa perehdytään tutkimuksiin, joissa ensisijaisena pyrkimyksenä on kehittää täsmällisyyttä yleisellä tasolla. Tämä tarkoittaa tutkimuksia, joissa mielenkiinto on tutkimusasetelman tai -menetelmien sijaan ennen kaikkea sellaisissa tuloksissa, joiden avulla rautatieliikennejärjestelmän täsmällisyyttä voidaan parantaa mahdollisimman laaja-alaisesti. Luvun ulkopuolelle on rajattu täsmällisyyttä parantavat konkreettiset menetelmät ja työkalut. Niitä on tarkasteltu luvussa 9. On myös huomattava, että luvussa ei esiinny teemaa, jossa näkökulmana olisi suoraan täsmällisyyden parantaminen – se kun on taustatavoitteena kaikissa tämän luvun artikkeleissa.

Luvussa 8.2 *Johtamisen kehittäminen* tarkastellaan artikkeleita, joissa pyritään kehittämään rautatieorganisaation täsmällisyyteen liittyvää ja sitä parantavaa johtamista (*management*). Teemaan liittyvät esimerkiksi suorituskykykannustimet.

Luvussa 8.3 *Palvelun laadun parantaminen* esitellyissä artikkeleissa täsmällisyys nähdään asiakasnäkökulmasta, osana palvelun laatua (*quality of service, QoS*). Tavoitteena on luonnollisesti parantaa palvelun laatua täsmällisemmän liikennöinnin avulla.

Luvussa 8.4 *Luotettavuuden lisääminen* kehityskohteena on liikennejärjestelmän luotettavuus (*reliability*). Luotettavuudella viitataan tässä yhteydessä junan kykyyn saapua ajoissa määränpähän ja epävarmuuteen, joka liittyy ajoissa pysymiseen, sekä näiden seikkojen ennustettavuuteen. Termi on läheistä sukua täsmällisyydelle.

Luku 8.5 *Häiriösietoisuuden parantaminen* nostaa esille artikkeleita, joissa pyritään järjestelmän parempaan häiriösietoisuuteen (*robustness*) siten, että liikenne on täsmällisempää myös erilaisissa poikkeustilanteissa. Usein tämä tavoite liittyy aikataulusuunnitteluun ja liikenteenohjaukseen.

Luvussa 8.6 *Järjestelmän optimointi* tutustutaan artikkeleihin, joissa liikennejärjestelmää pyritään optimoimaan (*optimization*) siten, että saavutetaan parempi kokonaistäsmällisyys. Optimointi voi liittyä esimerkiksi kapasiteetin tai kaluston käyttöön.

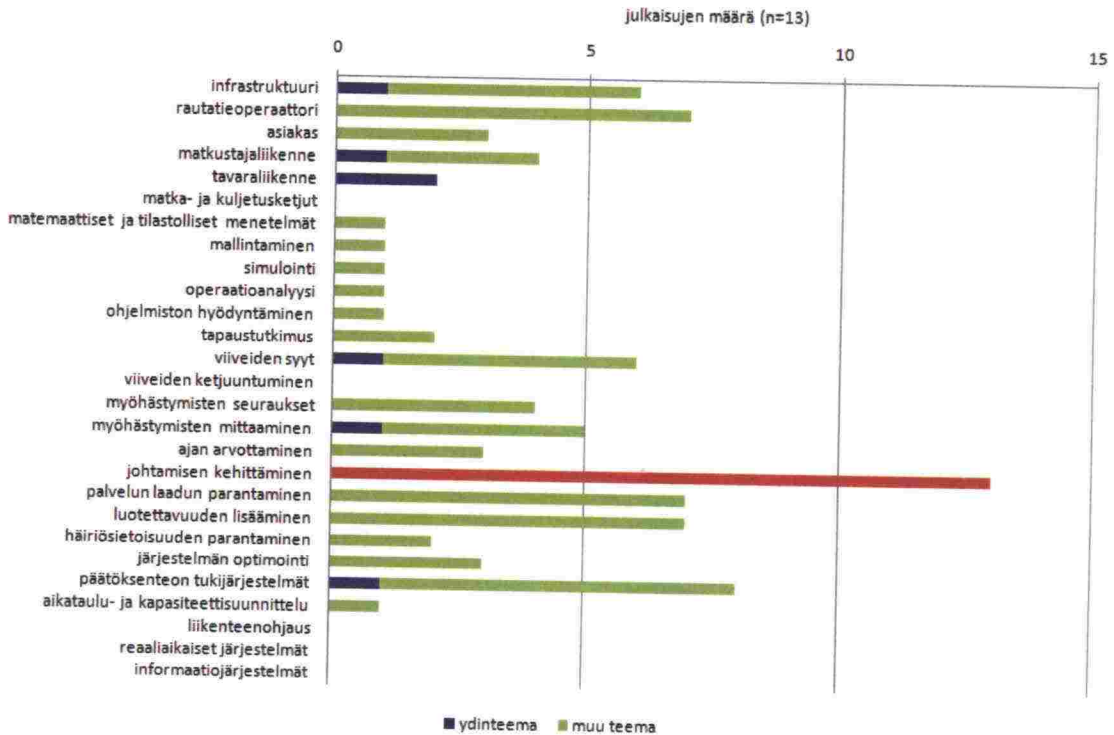
Kaikki tämän luvun teemat melko läheistä sukua toisilleen. Näin ollen luokittelukaan ei ole ehdoton totuus, vaan näkökulmasta riippuen moni artikkeli olisi voitu sijoittaa myös johonkin toiseen luokkaan.

### 8.2 Johtamisen kehittäminen

Johtaminen (*management*) on työtä, jolla pyritään vaikuttamaan organisaation nykyiseen ja tulevaan toimintaan siten, että asetetut tavoitteet saadaan toteutettua. Rautatieliikennejärjestelmän organisaatioilla tällainen tavoite voi olla esimerkiksi täsmällisyys. Täsmällisyyttä voidaan johtaa hyvin moninaisin keinoin, kuten suorituskykykannustimin tai vaikka myöhästymisistä langetettavin sakkomaksuin. Tässä luvussa tarkastellaan tutkimusta, jossa pyritään jollakin tavoin kehittämään täsmällisyyteen liittyvää johtamista.



Kirjallisuuskatsaukseen sisältyy 39 julkaisua, joissa on tarkasteltu johtamista rautatie- liikenteen täsmällisyyden yhteydessä. Näistä julkaisuista kolmessatoista oli pääteemana täsmällisyysjohtaminen. Kuva 8.1 on piirretty näiden 13 julkaisun perusteella ja siinä kuvataan teemat, jotka esiintyvät näiden julkaisujen yhteydessä.



Kuva 8.1 Ydinteeman JOHTAMISEN KEHITTÄMINEN kanssa samoissa julkaisuissa käsiteltyt muut teemat.

Kuvasta 8.1 nähdään, että käsitellyn kirjallisuuden perusteella täsmällisyysjohtamisen yhteydessä esiintyy niin laadun parantamiseen kuin luotettavuuden lisäämiseen pyrkiviä julkaisuja. Rautatieoperaattorin näkökulma on esillä johtamisen yhteydessä suhteellisen paljon, samoin päätöksenteon tukijärjestelmät.

Johtamista on kirjallisuudessa lähestytty eri tavalla kuin monia muita, ehkä teknisempiä aiheita. Siksi on luonnollista, etteivät menetelmät, kuten simulointi, mallintaminen tai ohjelmistojen hyödyntäminen korostu täsmällisyysjohtamisen tutkimuksessa.

Raportin liitteenä on luettelo johtamisen kehittäminen -teemaa käsittelevistä julkaisuista. Mukana on 22 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus).

### 8.2.1 Verkon haavoittuvuuden johtaminen

DE BRUIJN & DE BRUIJNE & STEENHUISEN. CONFERENCE PROCEEDINGS 2007.  
**MANAGING INFRASTRUCTURE VULNERABILITY**

De Bruijn et al. (2007) kuvaavat suorituskvyn mittaamisjärjestelmää, jonka avulla verkon haavoittuvuutta voidaan mitata. Artikkelissa nostetaan erityisesti esiin kaksi näkökulmaa, joista toinen on täsmällisyys Alankomaiden rataverkolla. Kirjoittajat tarkastelevat mittausjärjestelmän käytön positiivisia ja negatiivisia vaikutuksia sekä suorituskvyyä ja sen johtamista laajemmin verkkojen näkökulmasta. Vertailukohtana tutkimuksessa on sähköverkon toimijoiden suorituskvyy ja tuon alan kannusteet ja johtaminen.

Artikkelissa tarkastellaan suorituskvyn seuranta ja johtamista Alankomaissa. Tästä syystä hallinnointirakenne on alankomaalaisen mallin mukainen. Siellä liikenne on järjestetty hyvin samankaltaisesti kuin Suomessa, eli valtiosta irrotettu, yksityinen operaattori hoitaa liikenteen. Rataverkkoa hallinnoi radanpitäjänä valtion viranomainen, joka vastaa toiminnastaan ministeriölle. Suorituskvyn ja täsmällisyyden johtaminen on siis jakautunut kolmelle eri organisaatiolle, joista jokaista asia kiinnostaa.

Eri osapuolet, erityisesti hallinto ja ministeriöt ovat ottaneet suorituskvyn mittarit käyttöön yrittääkseen valvoa ja hallita yhteiskunnan kannalta tärkeiden toimintojen, kuten rautatieliikenteen palvelua ja luotettavuutta. Ministeriötasolta asti on mahdollista pakottaa operaattori toimenpiteisiin täsmällisyyden parantamiseksi. Täsmällisyydestä suoriutumiseen liittyy erilaiset korvaukset, bonukset ja sanktiot. Artikkelissa todetaan, että paikallinen operaattori NS korvaa matkustajille täsmällisyydestä, jonka kesto on ollut yli puoli tuntia.

Alankomaissa suorituskvyn mittaamisen ja johtamisen taustalla on asetetut tavoitteet. Vuonna 2007 tavoitteena oli 87 prosentin täsmällisyys. Tavoitteet ovat nousseet vuosittain ja näin on pyritty takaamaan jatkuva kehitys. Täsmällisyyden toteumaa seuraa radanpitäjä ja operaattori. Operaattori on velvollinen julkaisemaan toteumatiedon perusteella tuotettuja täsmällisyysraportteja. De Bruijn et al. (2007) toteavat, että rautatiesektorilla puuttuu kokonaan merkityksellinen vertaisvertailu suorituskvyn suhteen. Kirjoittajien mukaan suorituskvyy pitäisi vertailla niin sisäisesti edellisiin vuosiin kuin kansainvälisestikin.

De Bruijn et al. (2007) esittävät kritiikkiä sitä kohtaan, että täsmällisyyden rooli suorituskvyn mittarina on niin vahva ja että täsmällisyydestavoitteet helposti ohittavat muut arvot. Täsmällisyydestavoitteiden korostuminen voi jättää vähemmälle huomiolle muun muassa turvallisuuden, matka-ajan, palvelun, saavutettavuuden ja tiedotuksen tärkeyden. Osittain muiden arvojen vähäinen huomioon ottaminen voi olla seurausta siitä, että vakiomallisia liikennöintisääntöjä ei ole, vaan liikennöinti koostuu monista päivittäisistä pienistä ratkaisuksista.

Täsmällisyysjohtaminen voidaankin ajatella melko laaja-alaisesti ja liikenteenohjaus osana täsmällisyysjohtamista. Liikenteenohjauksessa tehdään päivittäin pieniä ratkaisuja, jotka vaikuttavat täsmällisyyteen. Näiden ratkaisujen vaikutus voi olla kokonaisuuden kannalta suuri ja päätökset voivat johtaa epäedulliseen tilanteeseen. Päätöksen-



teko tällä tasolla onkin haastavaa, sillä joudutaan tekemään paljon pieniä päätöksiä ilman laajempaa, koko järjestelmän tasoista näkemystä.

Useat määrittelemättömät tekijät toimintojen ja tavoitteiden välillä voivat johtaa strategiaan ylilyönteihin. Esimerkkinä kuvataan NS:n tapaus, jossa johdettiin useita erillisiä täsmällisyyden kehityshankkeita ilman kokonaisnäkemystä. Yhteenlaskettuna näillä eri toimenpiteillä olisi saavutettu 140 prosentin täsmällisyys.

Suorituskyvyn mittaamisjärjestelmän vaikutuksina kuvataan alan läpinäkyvyyden lisääntymisen ja kannustimien käyttömahdollisuudet. Mittausjärjestelmällä on myös päinvastaisia vaikutuksia. Esimerkkinä mainitaan tapahtuma, jossa operaattori jäi 0,1 % päähän asetetusta tavoitteesta ja tämä johti pääjohtajan irtisanoutumiseen. Näin tarkkaan tavoitteiden seuraaminen voi aiheuttaa muitakin lieveilmiöitä, jotka eivät ole tavoitejohtamisen ajatuksena. Ongelmia voivat aiheuttaa esimerkiksi seuraavat tekijät:

- Junavuorojen peruuttamisella pelataan, sillä peruutus on laskennassa parempi kuin myöhästyminen.
- Aikatauluihin lisätään enemmän pelivaraa ja matka-ajat pidentyvät.
- Täsmällisyyttä suositaan muiden tekijöiden kustannuksella.
- Juniin kohdistuva täsmällisyyden tavoittelu heikentääkin matkan luotettavuutta ja nopeutta.

De Bruijn et al. (2007) toteavat, että täsmällisyyden mittaamiseen kohdistettu suorituskyvyn seuranta vinouttaa koko laatujohtamisen rautateillä. Täsmällisyyteen keskittyvien johtajien määrä, siihen käytetty aika ja huomio ovat epätasapainossa muihin rautatieliikenteen suorituskyvyn osatekijöihin käytettyjen, merkittävästi pienempien, resurssien suhteen. Suorituskyvyn mittaamisjärjestelmissä tarvitaan useampia tavoitteita, yksi joustamaton tavoite ei vastaa tarpeeseen, eikä ole riittävä johtamisen työkalu. Artikkelissa todetaan, että muun muassa asiakastytyväisyys, häiriötilanteiden lukumäärän huomioon ottaminen sekä häiriöiden kertyvyys rataosittain voisivat hyvin sopia mittaristoon.

Tavoitteet ovat myös tehokkaampia silloin, kun niihin liittyvät välittömät seuraukset, kuten taloudelliset sanktiot tai kannusteet, täsmällisyytilanteen julkinen läpikäynti, osoittelu ja häpeän tuottaminen sekä poliittinen tai johtotason puuttuminen asiaan, esimerkiksi tarkemman valvonnan kautta. Artikkelissa todetaan suorituskyvyn mittamisen oleva hyvin haasteellista kompleksisesta toimintaympäristöstä johtuen. Ja vaikka lopulta suorituskyvyn mittaristo saataisiin käyttöön, ei ole näyttöä siitä, miten radanpitäjä reagoi operaattorin suorituskykyyn eli toimiiko mittaristo johtamisen työkaluna vai ei.

Artikkelissa on vain vähän kirjallisuusviitteitä, vaikka se ansiokkaasti tarkastelee suorituskyvyn mittaristoja täsmällisyysjohtamisessa. Rautatieliikenteen kannalta merkittävien kirjallisuusviite tässä artikkelissa on (Vromans 2005).

### 8.2.2 Johtamisen kehittämistä käsitteleviä muita julkaisuja

STENBECK. JOURNAL ARTICLE 2008.

#### QUANTIFYING EFFECTS OF INCENTIVES IN A RAIL MAINTENANCE PERFORMANCE-BASED CONTRACT

Stenbeck (2008) esittelee Ruotsissa kunnossapidon sopimuksissa käyttöönotettua matemaattisiin ja graafisiin menetelmiin perustuvaa kannustinjärjestelmää. Artikkelissa tarkastellaan melko laaja-alaisesti kannustimia erilaisissa laatuun pohjautuvissa sopimuksissa, eikä keskitytä yksin kunnossapidon sopimuksiin, vaikka tätä tarkastellaankin artikkelissa tapaustutkimuksen tavoin. Artikkelissa esitetyssä tapauksessa kannustimia on käytetty rautatieoperaattorin sisäisessä sopimuksessa. Täsmällisyyteen liittyviä kannustimia voidaankin käyttää myös yrityksen sisäisen johtamisen työkaluina.

Laatuun liittyvien sopimusten kannustimien yhteydessä on usein ongelmia, jotka liittyvät laadun määrittelyyn, mittaamiseen ja palkitsemiseen sekä siihen kuka ja miten todellinen laatu todistetaan tehokkaasti. Tässä artikkelissa esiteltävässä tapauksessa laatu on määritelty kahden tekijän, täsmällisyyden (viiveminuutit) ja virheiden määrän avulla.

Artikkelissa esitellyssä tapauksessa ei ole unohdettu myöskään kustannuksia. Tarkastelussa on otettu huomioon kuinka uusi, kannustimia sisältänyt sopimus on vaikuttanut kokonaiskustannuksiin. Tutkimuksen tuloksena saatiin, että viiveiden määrä väheni noin 10 % vaikuttamatta kokonaiskustannuksiin. Artikkelissa viitataan useisiin suorituskannustimia käsitteleviin artikkeleihin, joissa näkökulma on juuri kunnossapidossa.

GRANSTRÖM. JOURNAL ARTICLE 2008.

#### A SYSTEM AND STAKEHOLDER APPROACH FOR THE IDENTIFICATION OF CONDITION INFORMATION: A CASE STUDY FOR THE SWEDISH RAILWAY

Granströmin (2008) tavoitteena on ollut tunnistaa eri sidosryhmien tietotarpeet, jotka liittyvät rautatieliikennejärjestelmän kuntotilanteeseen, ja tätä kautta parantaa liikennöinnin täsmällisyyttä. Artikkelissa kuvataan kokonaisvaltaisesti täsmällisyysongelmia, jotka liittyvät ajolangan ja virroittimen muodostamaan järjestelmään. Kuvauksen avulla tunnistetaan ne tiedot, joita tarvitaan teknisten toimintojen ylläpidon tueksi. Yhdistämällä tämän kuvauksen ja eri sidosryhmien näkemykset luodaan ymmärrys siitä, mitä tietoa tarvitaan ja miksi. Määriteltyjä tietotarpeita voidaan käyttää päätöksenteon tukena, kun otetaan käyttöön uusia tekniikoita järjestelmän kunnon valvomiseksi. Lisäksi prosessin aikana muodostuu kuva siitä, kuinka informaatiota ylipäättään voidaan hyödyntää täsmällisyyden parantamiseksi.

Sidosryhmien tietotarpeiden määrittämiseksi tutkimuksessa on käytetty menetelmää (FMEA), jossa virhetilanteet analysoitiin tyyppin ja vaikutusten kannalta. Menetelmää täydennettiin alan asiantuntijoiden epämuodollisilla haastatteluilla. Tämä metodologia todetaan sellaiseksi, että sitä voitaisiin käyttää myös muihin osajärjestelmiin, kuten kiskoihin, liittyvien tietotarpeiden määrittämiseen.



NYSTRÖM. JOURNAL ARTICLE 2008.

**A METHODOLOGY FOR MEASURING THE QUALITY OF DEVIATION REPORTING:  
APPLIED TO RAILWAY DELAY ATTRIBUTION**

Nyström (2008) kuvailee menetelmää, jolla mitataan poikkeustilanneraportoinnin laatua. Menetelmä perustuu poikkeustilanteiden lyhyisiin kuvauksiin (vignettes). Menetelmää sovelletaan Ruotsin rautatieliikenteen viiveiden luokittelujärjestelmään ja todetaan, että luokittelu on epäyhtenäistä ja sitä voisi menetelmän avulla kehittää.

FEARNLEY & BEKKEN & NORHEIM. JOURNAL ARTICLE 2004.

**OPTIMAL PERFORMANCE-BASED SUBSIDIES IN NORWEGIAN INTERCITY RAIL  
TRANSPORT**

Fearnley et al. (2004) käsittelevät rautatieliikenteen suorituskannustinjärjestelmiä ja niiden käyttöä Norjassa. Artikkelissa sivutaan täsmällisyyttä bonus- ja sanktiojärjestelmien ja kokonaislaadun yhteydessä. Kirjoittajat toteavat olevan olemassa riski, että suorituskannustimet motivoi operaattoreita keskittymään ainoastaan suorituskannustimilla määriteltyihin tekijöihin, kuten matkustajamääriin ja junakilometreihin. Tällöin on mahdollista, että muut palvelun laadun osat, kuten täsmällisyys jäävät vähemmälle huomiolle. Artikkelissa todetaan, että täsmällisyys voi jopa vaarantua tämän seurauksena.

Ratkaisuksi myös täsmällisyyden huomioon ottamiseen Fearnley et al. ehdottavat bonus/sanktio-järjestelmiä, joita on käytössä useissa maissa, esimerkkeinä artikkelissa mainitaan Australia, Tanska ja Alankomaat. Norjaan kirjoittajat suosittelevat täsmällisyyskannustimia, joihin sisältyy matkustajien viiveiden arvo. Suosituksen mukaan bonus tai vastaavasti sanktio laskettaisiin kokonaismyöhästymisminuuttien muutoksesta kerrottuna keskimääräisellä matkustajamäärällä ja tämä kerrottuna matkustajien myöhästymisajan arvolla. Näitä suosituksia ei kuitenkaan turvallisuussyihin vedoten otettu Norjassa käyttöön vuonna 2003, jolloin artikkelissa muuten käsitelty suorituskannustimet puolestaan otettiin käyttöön.

Artikkelissa on viitattu useisiin palvelun laatua, täsmällisyyttä tai bonusjärjestelmiä käsitteleviin artikkeleihin, kuten:

- NEA. 2003. BOB railway case: benchmarking passenger transport in railways. Final report submitted to the European Commission. January 2003.
- SRA. 2002. On track. 5th ed. UK Strategic Rail Authority. June 2002.
- Stanley, J. & Hensher, D.A. 2003. Performance based contracts in public transportation: the Melbourne experience. Thredbo 8 conference, Rio de Janeiro, 2003.
- van de Velde, D. & Pruijboom, E. 2003. First experiences with tendering at the tactical level (service design) in Dutch public transport. Thredbo 8 conference, Rio de Janeiro, 2003.

HOUBEN & RIETVELD & VAN HAGEN & DAAMEN & MOLTZER. REPORT 2006.  
**IMPORTANCE OF RELIABILITY FOR TRANSPORTATION CHAINS. SUBJECTIVE VERSUS  
 OBJECTIVE RELIABILITY: CHANCES FOR INCENTIVES?**

Houben et al. (2006) tarkastelevat, onko asiakasnäkökulma otettu oikein huomioon rautatieyrityksen, rautatieinfrastruktuurinhaltijan ja valtion välisissä sopimuksissa ja tarvitaanko näissä sopimuksissa vielä muitakin kannustimia. Tähän tutkimukseen on viitattu laajemmin luvussa 7.4 Myöhästymisten seuraukset.

SALERNO & COSTALLI & GUIDA. MAGAZINE ARTICLE 2008.  
**A NEW METHOD FOR DELAY ANALYSIS AND "PERFORMANCE REGIME" EVALUATION**

Junien kulun hallinta ja siihen liittyvät taloudelliset suorituskannusteet ovat saamassa yhä enemmän painoarvoa rautatieliikenteessä. Niiden nähdään olevan merkittäviä niin johtamisen kuin taloudellisten sovelluksien kannalta. Salerno et al. (2008) esittelevät menetelmän junien kulun analysointiin. Sen avulla voidaan kohdentaa viiveiden syitä ja jakaa vastuuta viiveestä ketjun eri osille realistisemmin. Mallin avulla saadaan näin ollen aikaiseksi kvantitatiivinen pohja palvelun arviointia ja suorituskannustimien asettamista varten.

### 8.2.3 Yhteenveto ja johtopäätökset

Täsmällisyysjohtamisen tutkimus on kirjallisuuden perusteella vähäistä. Täsmällisyyden johtaminen on jakautunut useisiin pieniin osiin ja useille organisaatioille, mikä vaikeuttaa tehtävää. Yhdeksi hyväksi ja samalla myös kirjallisuudessa eniten käsitellyksi täsmällisyysjohtamisen työkaluksi näyttävät löytyneen suorituskannustimet ja niiden käyttö liikennöintisopimuksissa.

Suorituskannustinjärjestelmiä ja erityisesti bonus- ja sanktiojärjestelmiä on kirjallisuuden perusteella käytössä useissa maissa. Rautatieoperaattorien ja rataverkon haltijoiden välisissä sopimuksissa on kirjauksia muun muassa täsmällisyydestä. Erilaisia kannustimia ja sanktioita sekä täsmällisyyttä on tutkittu jonkin verran, mutta erityisesti empiiriselle tutkimukselle olisi vielä tilaa. Osin ongelmana on se, että kannustimia on käytetty vasta vähän aikaa ja pidempiaikainen kokemus puuttuu.

Kirjallisuudessa kritisoidaan täsmällisyyden seurantaa tavoitteiden puuttumisesta. Kuitenkin De Bruijnin et al. (2007) mukaan Alankomaissa täsmällisyystavoitteet ovat merkittävässä osassa täsmällisyyden kehittämisessä ja johtamisessa. Täsmällisyystavoitteiden käyttö ja niiden huomioon ottaminen todellisessa täsmällisyysjohtamisessa vaikuttaa vielä olevan puutteellista, vaikka tavoitteiden asettaminen näyttäisi olevan yleistä.

Täsmällisyyden ja laadun johtaminen on rautatieliikenteessä jakautunut moneen osaan ja sitä tehdään varsin pienilläkin päätöksillä. Voidaan nähdä, että liikenteenohjaajat tekevät päätöksiä, jotka ovat täsmällisyyden johtamista. Heillä ei kuitenkaan ole aina riittävän laajaa näkemystä koko rautatiejärjestelmästä, jotta he olisivat oikea taho näiden päätösten tekoon.



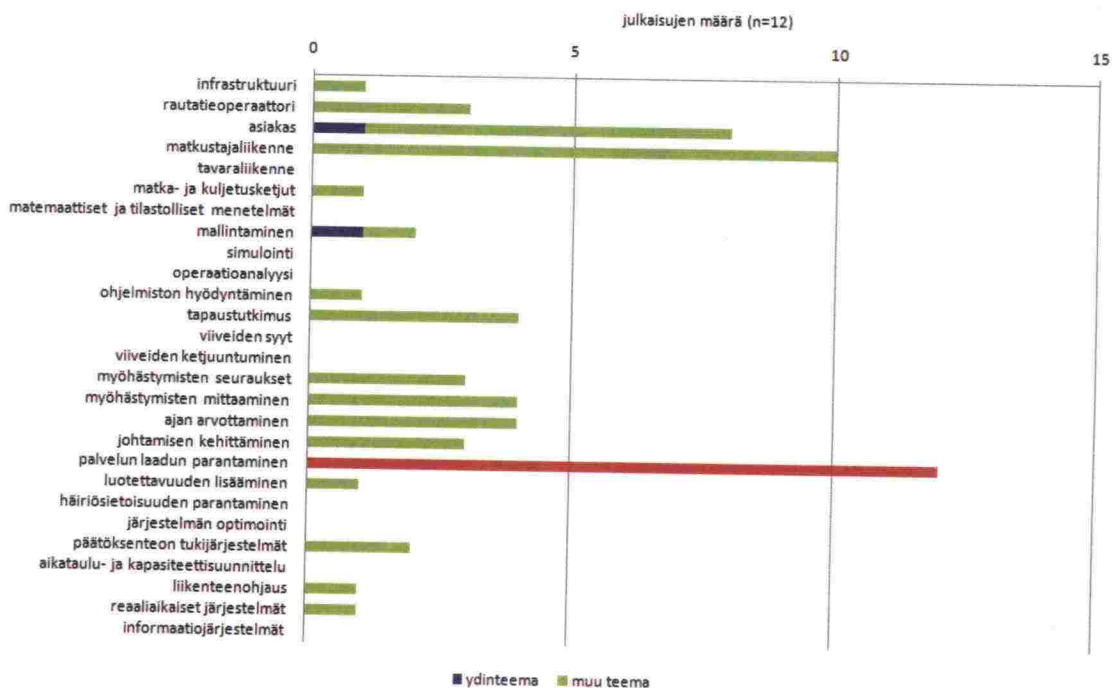
### 8.3 Palvelun laadun parantaminen

Palvelun laadun parantaminen on kehitystavoite, johon viitataan useissa rautatie-liikenteen täsmällisyyden tutkimuksissa. Usein palvelun laadun parantaminen kohdistuu matkustajaliikenteeseen. Seuraavaksi tarkasteltavissa julkaisuissa pääpaino on juuri näissä matkustajaliikenteen tavoitteissa, mutta myös koko järjestelmään laadun parantamista käsitellään.

Palvelun laadun parantaminen liitetään kirjallisuudessa usein kokonaislaadun käsitteeseen. Täsmällisyys puolestaan on osa tätä kokonaislaatua ja on sitä kautta mukana tarkastelussa. Täsmällisyys kuvataan useassa julkaisussa merkittävimmäksi tai yhdeksi tärkeimmistä laadun osatekijöistä. Tästä syystä parantamalla täsmällisyyttä voidaan parantaa myös kokonaislaatua.

Palvelun laatua ja täsmällisyyttä laadun osana voidaan parantaa tuntemalla nykytilanne ja sen puutteet. Ensimmäinen haaste liittyy laadun määrittämiseen, joka koetaan haasteelliseksi. Laadun osatekijöiden selvittäminen on ensimmäinen askel kohti kokonaisuuden parantamista. Cavana et al. (2007) määrittelevät osuvasti palvelun laadun olevan *yleismaailmallinen arvio tai mielipide, joka kuvaa palvelun laadukkuutta tai paremmuutta*. Tämä lainaus kuvaa hyvin kirjallisuudessakin esiintyvää haastetta, kuinka selvittää yleismaailmallinen arvio tai asiakkaiden mielipide.

Palvelun laadun parantaminen on melko yleisen tason tavoite ja sitä käsiteltiin 66 täsmällisyyttä tarkastelevassa julkaisussa. Kuitenkin vain 12 julkaisussa tämä oli keskeisenä tavoitteena. Kuten kuvasta 8.2 nähdään, palvelun laadun parantaminen on selvästi tavoitteena vain tiettytyyppisessä täsmällisyydetutkimuksessa.



Kuva 8.2 Ydinteeman PALVELUN LAADUN PARANTAMINEN kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat.

Kuvassa 8.2 on esitetty ne teemat, jotka esiintyvät julkaisuissa, joissa palvelun laadun parantaminen on ydinteemana. Palvelun laatu ja sen parantamien liittyvät olennaisesti asiakkaisiin ja erityisesti matkustajaliikenteeseen. Täsmällisyyden mittaaminen liittyy myös useaan palvelun laatua tarkastelevaan tutkimukseen, sillä täsmällisyyden mittaaminen on usein osa palvelun laadun mittareita.

Raportin liitteenä on luettelo palvelun laadun parantaminen -teemaa käsittelevistä julkaisuista. Mukana on 42 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus).

### **8.3.1 Rautateiden matkustajaliikenteen laadun hallintaan tarkoitettujen sietokykyrajojen kehittäminen**

CAVANA & CORBETT & LO. JOURNAL ARTICLE 2007.

#### **DEVELOPING ZONES OF TOLERANCE FOR MANAGING PASSENGER RAIL SERVICE QUALITY**

Cavana et al. (2007) esittelevät laadun arviointiin tarkoitetun työkalun, jota he ovat soveltaneet rautatieliikenteen, erityisesti matkustajaliikenteen laadun arviointiin. Esiteltyä SERVQUAL-työkalun sovellusta on testattu yhdelle matkustajaliikenteen linjalle Uudessa-Seelannissa. Esiteltyä työkalua on käytetty jo monella muulla alalla, ei kuitenkaan koskaan ennen rautatieliikenteen palvelun laadun arviointiin. Artikkelissa kuvattu menetelmä on kirjoittajien mukaan jopa suosituin standardoitu kyselypohja palvelun laadun mittaamiseen.

Kirjoittajien kuvaamat sietokykyalueet (*zones of tolerance*) määritellään kahden erilaisen laatutason väliin jääviksi alueiksi. Tätä aluetta rajaavat toisaalta tavoiteltava laatutaso ja toisaalta vähimmäistaso. Tavoiteltavan tason määrittävät ne asiat, jotka asiakkaiden mielestä *voi olla* tai *tulisi olla*, kun taas vähimmäistason kuvataan olevan *minimitaso, jonka asiakkaat hyväksyvät*.

Cavana et al. (2007) toteavat sietokykyalueiden kuvaavan niitä alueita ja tekijöitä, joita tulisi kehittää, mutta he eivät käsittele niiden kehittämistä. Kirjoittajat kuitenkin pitävät tärkeänä, että odotusten mittaaminen ja seuranta ovat tulevaisuudessa osa palvelun laadun seurantaa.

Kirjoittajien mukaan liikenteen laatua käsittelevässä kirjallisuudessa on esitetty, että laatua voitaisiin mitata käyttäen useita erilaisia menetelmiä riippuen käyttäjistä, mittauksen tarkoituksesta sekä mittausympäristöstä. Samalla he kuitenkin toteavat, että perinteiset laadun mittarit eivät ole huomioineet asiakkaiden näkemyksiä ja tämän johdosta myös rautatieliikenteessä tarvitaan erilaisia mittareita. Artikkelissa esitelty SERVQUAL pystyy tuottamaan tietoa osaan näistä rautatieliikenteessä esiin nousseista tarpeista.

Artikkelissa kuitenkin huomautetaan, että SERVQUAL malliin liittyy vielä varauksia ja erityisesti sen käyttöä rautatieliikenteessä tulisi vielä testata lisää. Menetelmän potentiaali on kuitenkin tunnistettu, ja sen arvioidaan olevan hyvä väline myös laatujohtamiseen.



Artikkelissa esitetyssä tutkimuksessa tehdyn kyselyn perusteella asiakkaat pitävät rautateillä palvelun laadun tärkeimpinä ominaisuuksina luotettavuutta, turvallisuutta ja helppoutta.

Artikkelissa viitataan muun muassa seuraaviin rautatieliikenteen palvelun laatua käsitteleviin julkaisuihin:

- Disney, John. 1998. Competing through quality in transport services. *Managing Service Quality*, Vol. 8, Issue 2, p. 112–120. (Disney 1998)
- Hanna, J.B. & Drea, J.T. 1998. Understanding and predicting passenger rail travel: an empirical study. *Transportation Journal*, Vol. 38, Issue 1, p. 38–46.
- Drea, J.T. & Hanna, J.B. 2000. Niche marketing in intrastate passenger rail transportation. *Transportation Journal*, Vol. 39, Issue 3, p. 33–43.
- Tripp, C. & Drea, J.T. 2002. Selecting and promoting service encounter elements in passenger rail transport. *The Journal of Services Marketing*, Vol. 16, Issue 5, p. 432–442. (Tripp & Drea 2002)

Tekijöiden Drea ja Hanna artikkelissa on tutkittu rautatieliikenteen palvelun laatua matkustajaliikenteessä. Heidän tutkimuksessaan on keskitytty niihin laadun tekijöihin, jotka vaikuttavat kulkumuodon valintaan.

### **8.3.2 Rautatieliikenteen palvelun laadun parantaminen Tokiossa**

IEDA & KANAYAMA & OTA & YAMAZAKI & OKAMURA. JOURNAL ARTICLE 2001.  
**HOW CAN THE QUALITY OF RAIL SERVICES IN TOKYO BE FURTHER IMPROVED?**

Ieda et al. (2001) tarkastelevat palvelun laatua ja sen kehittämisedellytyksiä Tokiossa. Tekijät pohtivat, kuinka kehittämisvastuu sopii operaattoreille ja kuinka kehitys-investoinnit kustannetaan. Artikkelin on kirjoittanut tutkijoiden ja operaattorin edustajan yhteistyönä, ja lähestymistapa on melko käytännönläheinen.

Tokiossa palvelun laadun heikoimpana lenkinä on ruuhkautuminen, erityisesti aamu- ja iltapäivisin. Täsmällisyyteen ollaan Tokiossa selvästi tyytyväisempiä kuin muissa suurissa kaupungeissa. Artikkelissa ei pohdita niinkään sitä, kuinka täsmällisyyttä parantamalla voidaan kehittää palvelun laatua, vaan sitä, millaisilla hyöty-kustannus-suhteilla laatua voidaan parantaa. Tekijät esittävät, että palveluja tulisi kehittää asiakkailta saatavan palautteen, asiakkaiden mieltymysten avulla. Myös investointeja tulee arvioida asiakkaille siitä aiheutuvan hyödyn kautta.

Palvelun laadun seurannan yhdeksi keinoksi Ieda et al. (2001) esittävät asiakkaiden tyytyväisyyden seuraamisen muun muassa ruuhkautumisen, matkanopeuksien ja täsmällisyyden suhteen. Esimerkkinä tällaisesta seurannasta he mainitsevat asiakas-tyytyväisyyttä seuraavan brittiläisen Strategic Rail Authorityn, joka seuraa asetettuja laatutavoitteita ja mittaa asiakastyytyväisyyttä sekä näiden perusteella joko palkitsee tai rankaisee rautatieoperaattoria.

### 8.3.3 *Palvelun laadun parantamista käsitteleviä muita julkaisuja*

VANSTEENWEGEN & VAN OUDHEUSDEN. JOURNAL ARTICLE 2006.

#### **DEVELOPING RAILWAY TIMETABLES WHICH GUARANTEE A BETTER SERVICE**

Vansteenwegen ja Van Oudheusden (2006) esittelevät matkustajaliikenteen palvelun parantamiseksi odotusajan kustannusfunktion sekä sen erilaiset painotukset. Kustannusfunktion avulla myöhästymiset voidaan suunnitella aikatauluun ja minimoida. Artikkelissa esitellään tätä varten menetelmä, jota on käytetty lyhyelle osalle Belgian rataverkkoa. Tässä tapaustutkimuksessa Belgian rataverkolla tulokseksi saatiin aikataulurakenne, jossa vaihtoyhteydet toimivat ja odotusajan kustannukset vähenivät 40 prosenttia.

Odotusajan kustannusten todetaan olevan kriittinen tekijä arvioitaessa palvelun laatua. Odotusaikaan vaikuttavat niin aikataulusuunnittelu vaihtojen kautta kuin myöhästymisetkin.

TRIPP & DREA. JOURNAL ARTICLE 2002.

#### **SELECTING AND PROMOTING SERVICE ENCOUNTER ELEMENTS IN PASSENGER RAIL TRANSPORTATION**

Trippin ja Drean (2002) tutkimuksen tavoitteena on ollut jakaa rautateiden matkustajaliikenteen palvelu kahteen osaan, ennen matkaa koettaviin palvelun tekijöihin ja matkan aikaisiin tekijöihin. Artikkelissa esitetään kyselytutkimuksen avulla saatuja tuloksia ja todetaan, että matkan aikana koetulla palvelulla, kuten muun muassa täsmällisyydellä on voimakas merkitys siihen, millainen on matkustajien asenne palvelun tarjoajaa kohtaan.

Tutkimuksessa pyritään osoittamaan suorat ja epäsuorat yhteydet erilaisten palveluiden välillä ja näiden kahden erityyppisen palvelun vaikutukset matkustajien halukkuuteen toistaa matka. Täsmällisyys on otettu huomioon tutkimuksessa rakennetussa mallissa omana osatekijänä.

CASSON. JOURNAL ARTICLE 2004.

#### **THE FUTURE OF THE UK RAILWAY SYSTEM: MICHAEL BROOKE'S VISION**

Cassonin (2004) laajassa artikkelissa käsitellään Britannian rautatiejärjestelmässä tapahtunutta muutosta ja sen seurauksia. Artikkelissa nostetaan esille useita ongelmia, jotka johtuvat Cassonin mukaan päätöksestä erottaa radanpitäjä ja operaattori erillisiksi toimijoiksi. Yhdeksi tästä seuranneeksi ongelmaksi artikkelissa esitetään täsmällisyyden ja luotettavuuden heikkeneminen. Artikkelin kuvaava nimensä mukaisesti paikalliseen rautatiejärjestelmään vaikuttaneen edesmenneen asiantuntijan Michael Brooken näkemyksiä. Brooken näkemyksenä kirjattakoon muun muassa, että hänen mielestään rautatieliikenteen kulttuurin tulisi olla

- ennemmin ammattimaista kuin pragmaattista
- visionääristä ennemmin kuin elämäkokemukseen (*street-wise*) perustuvaa.



Kirjoittaja toteaa liikennesektorin olevan palvelutoimiala, millä on vaikutuksia sen suorituskykyyn. Palveluita käytetään niin sanotusti tuotantopisteissä, mistä johtuen liikenteen tarjoamaa palvelua ei voida varastoida. Tämä ominaisuus tekee liikenteestä ajasta riippuvaisen ja asettaa matkustajille myös aikaan sidottuja odotuksia tältä palvelulta. Myös täsmällisyyden merkitystä korostetaan: mikäli palvelua ei onnistuta toimittamaan täsmällisesti, voi siitä tulla tarpeetonta. Asiakkaat ovat lopulta kiinnostuneempia matkan perustekijöistä, kuten täsmällisyydestä, turvallisuudesta ja siisteydestä kuin siitä, minkä yhtiön junalla he liikkuvat.

Artikkelissa luetellaan useita rautatiealaan kohdistuvia merkittäviä muutoksia. Täsmällisyyden näkökulmasta merkittävimpinä yksityistämisen seurauksina Casson kuvaa täsmällisyyden heikkenemisen, koska junat liikennöivät pidemmällä väleillä ja tekevät useampia pysähdyksiä, jolloin junavuoroja joudutaan perumaan useammin.

MILAN. JOURNAL ARTICLE 1996.

**THE TRANS EUROPEAN RAILWAY NETWORK : THREE LEVELS OF SERVICES FOR THE PASSENGERS**

Milan (1996) esittelee palvelun laadun käsitteen ja kuvaa laadun mittaamisen ja analysoinnin keinoja. Kirjoittaja esittelee aikatauluun pohjautuvia tekijöitä, joiden avulla matkustajien palvelun laatua voidaan mitata. Hän myös kuvaa aikatauluun pohjautuvien palvelun laatuun vaikuttavien tekijöiden välistä kausaalisuutta. Samoja teemoja käsitellään myös tekijän myöhemmässä artikkelissa (Milan 1997).

Artikkelissa on viitattu muun muassa seuraavaan julkaisuun:

- Claesson, A. & Dahle, G. & Lindh, C. 1989. The value of reliability in passenger train operations. Rail International 1/1989, p. 103–111. (Claesson et al. 1989)

MILAN. JOURNAL ARTICLE 1997.

**COMPARISON OF THE QUALITY OF RAIL AND AIR NETWORKS IN WEST, CENTRAL AND EASTERN EUROPE**

Milan (1997) tarkastelee matkustajaliikenteen laatua ja erilaisia reittejä niin rautatie- liikenteessä kuin lentoliikenteessäkin ja vertailee palvelun laadun tasoa näiden liikenne- muotojen välillä. Rautatieliikenteen täsmällisyyden näkökulmasta artikkelissa on kiinnostavaa matkustajien palvelun laadun määrittäminen aikaan sidotuilla tunnus- luvuilla, kuten myöhästymisillä. Milanin mukaan aikatauluun perustuvat täsmällisyys- tiedot ovat yksi merkittävimmistä laadun arvioinnin osatekijöistä. Hän myös toteaa, että ajassa mitattavat tekijät tuottavat kohtalaisen tarkkaa ja helposti mittavissa olevaa tietoa laadusta.

LIU & GAO. CONFERENCE PROCEEDINGS 2007.

#### **STUDY ON RAILWAY TRANSPORT SERVICE QUALITY EVALUATION**

Artikkelissa on käytetty SERVQUAL-arviointimallia rautatieliikenteen laadun arviointiin ja laatutekijöiden määrittämiseen Kiinassa. Liu ja Gao (2007) ovat empiiristen tutkimusten avulla rakentaneet rautateiden matkustajaliikenteen palvelun laatua arvioivan mallin. Tutkimus osoittaa, että laatu voidaan jakaa viiteen ryhmään; ulkoisiin ominaisuuksiin, luotettavuuteen, viestintään, saavutettavuuteen ja asiakaspalveluun. Tutkimuksella pyritään vastaamaan tarpeeseen arvioida asiakkaiden asenteita rautatieliikenteen laadusta.

Asiakastytyväisyyttä ja palvelun laatua kuvaava malli rakentui SERVQUAL-arviointimallista ja kyselytutkimuksella kootusta Kiinan rautatieliikennettä kuvaavista ominaisuuksista. Tuloksina esitetään, että palvelun laatu saa kokonaisuudessaan heikkoa arvoja ja palvelu nykytilassa ei kohtaa asiakkaiden odotuksia. Täsmällisyyttä kuvaavia laatutekijöitä oli mukana mallin ensimmäisessä vaiheessa, mutta ne jäivät osittain pois lopullisesta mallista. Tutkimuksen perusteella voidaan kuitenkin todeta, että on mahdollista arvioida palvelun laatua moniulotteisen mallin avulla.

COLE & COOPER. JOURNAL ARTICLE 2005.

#### **MAKING THE TRAINS RUN ON TIME: THE TYRANNY OF PERFORMANCE INDICATORS**

Cole ja Cooper (2005) tarkastelevat suorituskvyn mittareiden käyttöä Britannian rautateillä keskittyen erityisesti täsmällisyyteen ja luotettavuuteen. Britanniassa näitä seurataan osana julkisen suorituskvyn mittaristoa (Public Performance Measure, PPM).

Tekijät kritisoivat suorituskvyn seurantaa muun muassa siitä, ettei se pysty kuvaamaan yksityistämisen vaikutuksia. Artikkelissa tuodaan esille, kuinka yksityistäminen on Britanniassa vaikuttanut negatiivisesti rautatieliikenteen laatuun. Yksipuolinen täsmällisyyden seuranta voi artikkelin mukaan johtaa siihen, että palvelun laadun muut osatekijät jäävät pienelle huomiolle.

McTAVISH & MAIDMENT. MAGAZINE ARTICLE 1989.

#### **QUALITY MONITORING IN BRITISH RAIL**

McTavish ja Maidment (1989) kuvaavat Britannian rautateillä tapahtuvaa laadun valvontaa ja siihen liittyviä organisaatioita. Artikkelin on jo melko vanha, joten organisaatiorakenteet ovat voineet muuttua. Artikkelissa kuvatussa tapauksessa eri toimijat määrittelevät palvelut, toisten toteuttaessa ne. Tämä vaatii tarkkaa palveluiden määrittelyä. Asiakkaiden suuntaan kirjoittajat pitävät merkittävimpänä junaliikenteen palveluna täsmällisyyttä, ja artikkelissa kuvataan erilaisia järjestelmiä, joiden avulla seurataan täsmällisyyttä ja ohjataan liikennettä.

BACHMAN. JOURNAL ARTICLE 1989.

#### **HSR VEHICLE PERFORMANCE CHARACTERISTICS**

Bachman (1989) keskittyy kaluston suorituskvyn vaikuttaviin tekijöihin. Artikkelin on hyvin tekninen, mutta siinä todetaan asiakkaiden tyytyväisyyden olevan määrittävä tekijä, varsinkin tulojen kannalta.



Yhtenä kaluston suorituskyvyn ominaisuutena Bachman pitää aikataulussa pysymistä. Useat muut ominaisuudet ovat vastaavia, joita tarkastellaan muussa tutkimuksessa laadun osatekijöinä. Tässä artikkelissa niitä kuitenkin tarkastellaan vaunujen teknisen suorituskyvyn näkökulmasta.

TAPIADOR & BURCKHART & MARTÍ-HENNEBERG. JOURNAL ARTICLE 2009.

#### **CHARACTERIZING EUROPEAN HIGH SPEED TRAIN STATIONS USING INTERMODAL TIME AND ENTROPY METRICS**

Tapiador et al. (2009) käsittelevät intermodaalisuutta matkustajaliikenteessä eli erilaisia kuljetusketjuja. Täsmällisyydestä ei artikkelissa ole kuin maininta, joten itse tutkimuksen tuottama informaatio ei ole tämän kirjallisuuskatsauksen kannalta oleellista. Artikkelissa kuitenkin viitataan tyytyväisyyskyselyyn, joka on mielenkiintoinen erityisesti palvelun laadun näkökulmasta:

- European Commission 1999. Urban Research: Guide. <http://www.cordis.lu/transport/src/guide.htm>

#### **8.3.4 Yhteenveto ja johtopäätökset**

Palvelun laadun esitetään koostuvan useista tekijöistä ja laatu voidaan niiden avulla jakaa osiin erilaisin perustein. Täsmällisyys on yksi laadun osatekijä. Laadun määrittäminen vaikuttaa haasteelliselta, eikä yksiselitteistä palvelun laadun määritelmää ole kirjallisuuden perusteella rautatieliikenteeseen löydetty. Erilaisia työkaluja laadun arviointiin on jo kehitetty, joten odotettavissa on, että myös laadun arviointi helpottuisi tulevaisuudessa.

Laadun osatekijöiden merkitystä on myös painotettu eri tavoin, riippuen näkökulmasta, josta laatua arvioidaan. Palvelun laatu voi osin olla kulttuurisidonnainen, jolloin laatua arvioiva malli Kiinassa voikin olla selvästi erilainen kuin Uudessa-Seelannissa.

Yhteisinä piirteinä rautatieliikenteen laadun parantamisessa ovat asiakkaiden näkökulmasta kuitenkin luotettavuus, turvallisuus sekä odotusajat. Luotettavuus ja odotusajan merkitys molemmat määräytyvät täsmällisyyden kautta. Täsmällisyys nostetaan esiin myös omana tekijänään. Rautatieliikenteessä palvelu on aikatauluun sidottua, mikä tekee täsmällisyydestä merkittävän osana rautatieliikenteen palvelun laatua. Täsmällisyyden rooli laadun kuvaamisessa voi jopa ylikorostua, ja kuten Cole ja Cooper (2005) huomauttavat, täsmällisyys voi jopa dominoida laadun mittarina niin, että muiden osatekijöiden arviointi ja kehittäminen jää ottamatta huomioon.

Palvelun laadun tutkimus painottuu selvästi enemmän matkustajaliikenteeseen ja sen asiakkaisiin. Tämä kuvaa hyvin osaltaan sitä, kuinka täsmällisyys on merkittävämpi matkustajaliikenteen laatutavoitteistossa, verrattuna tavaraliikenteeseen.

Palvelun laadun mittaamiseen näyttää liittyvän samoja ongelmia kuin täsmällisyyden seurantaankin. Tavoiteltava taso on vaikea määrittää ja osin tavoitteet puuttuvat kokonaan. Palvelun laadun yhteydessä esitetään usein kysymys siitä, kuka määrittelee laadun tason, asiakas, viranomaiset vai rautatieoperaattorit. Ongelmallista on juuri asiakkaiden odotusten ja laadun mittaamisen yhdistäminen. Palvelun laadun kehittämisen nähdään liittyvän kiinteästi laatu- ja täsmällisyysjohtamiseen.

Kirjallisuushauissa löydettyjen artikkelien perusteella näyttäisi siltä, että liikenteen ja myös rautatieliikenteen laadusta on jo kohtalaisen paljon tehtyä tutkimusta. Täsmällisyyden vaikutuksia kokonaislaatuun on tutkittu selvästi vähemmän. Tutkimus palvelun laadusta yhdistyy usein myös täsmällisyyden mittaukseen, kun täsmällisyyttä mitataan osana kokonaislaatua.

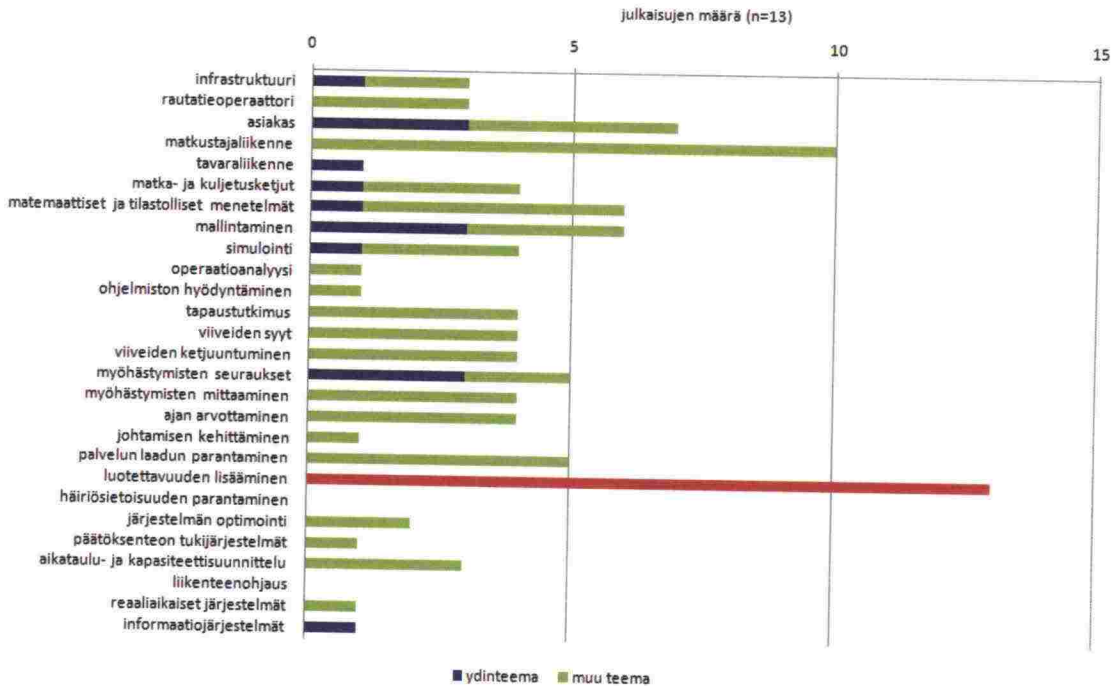
#### 8.4 Luotettavuuden lisääminen

Luotettavuudella kuvataan junan kykyä ja todennäköisyyttä saapua ajoissa määränpäähän sekä epävarmuutta, joka liittyy aikataulussa pysymiseen. Matkustajan näkökulmasta luotettavuus liittyy läheisesti matka-ajan tilastolliseen vaihteluun ja sen ennustettavuuteen. Luotettavuuden ja täsmällisyyden käsitteet ovat toisilleen hyvin läheisiä. Synonyymejä ne eivät kuitenkaan ole – epäluotettavakin junaliikenne voi toisinaan olla täsmällistä, mutta asiaan liittyvä epävarmuus on suurta. Tässä luvussa tarkastellaan julkaisuja, joissa eri tavoin pyritään parantamaan rautatieliikenteen luotettavuutta.

Luotettavuuden käsite on kirjallisuudessa usein liitetty matkustajaliikenteeseen, ja useissa julkaisuissa onkin käsitelty luotettavuutta matkustajien näkökulmasta. Luotettavuutta on rautatieliikenteessä tutkittu muun muassa matka-aikojen täsmällisyyden näkökulmasta, mutta yhtä lailla asiaa on lähestytty käyttäytymistieteiden näkökulmasta ja tarkasteltu, kuinka luotettavuus vaikuttaa matkustuskäyttäytymiseen, saapumiseen asemille sekä odotusaikoihin yleisesti. Rautatieliikenteen luotettavuutta seurataan useissa maissa, useimmiten sen mittarina toimii junien täsmällisyys.

Rautatieliikenteen tai -järjestelmän luotettavuutta käsitteleviä julkaisuja on kirjallisuuskatsauksessa mukana paljon. Osin tämä voi johtua termin yleisestä käytöstä ja siitä, että luotettavuuden parantaminen esiintyy täsmällisyystutkimuksen tavoitteena hyvin usein. Luotettavuutta ydinteemana käsitteleviä julkaisuja sisältyy kirjallisuuskatsaukseen 13, ja kaiken kaikkiaan luotettavuutta käsiteltiin 89 julkaisussa. Kuvassa 8.3 on esitetty luotettavuuden ja muiden teemojen yhteys kirjallisuuskatsaukseen sisältyvissä julkaisuissa.





Kuva 8.3 Ydinteeman LUOTETTAVUUDEN LISÄÄMINEN kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat.

Kuvasta 8.3 on nähtävissä, että luotettavuutta käsitellään myös useiden muiden teemojen yhteydessä. Voimakkaammin esiin joukosta nousevat matkustajaliikenne ja asiakas. Tämä havainto on selvästi nähtävissä myös kirjallisuudessa. Luotettavuus on merkittävä juuri matkustajaliikenteen asiakkaille, matkustajille.

Raportin liitteenä on luettelo luotettavuuden lisääminen -teemaa käsittelevistä julkaisuista. Mukana on 60 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus).

#### 8.4.1 Rautatiejärjestelmän luotettavuus

VROMANS. DISSERTATION 2005.

##### RELIABILITY OF RAILWAY SYSTEMS

Väitöskirjassaan Vromans (2005) tarkastelee rautatieliikenteen luotettavuutta useasta näkökulmasta. Tämän kirjallisuuskatsauksen näkökulmasta väitöskirjan teoriaosuus on erityisen mielenkiintoinen ja siinä määritellään muun muassa täsmällisyyteen liittyviä käsitteitä hyvin monipuolisesti.

Luotettavuuden Vromans määrittelee järjestelmän kyvyksi suoriutua sille annetuista tehtävistä määrätyissä olosuhteissa, määrätyssä ajassa. Luotettavuuden mittarina pidetään sekä keskimääräistä vikaantumisväliä (MTBF) että aikataulussa suoritettujen toimintojen prosenttiosuutta kaikista toiminnoista. Vromans toteaa, että luotettavuudelle on tarjolla lukuisia erilaisia määritelmiä, mutta väitöskirjassaan

Vromans käyttää hyvin laveaa määritelmää; rautatiejärjestelmän ollessa luotettava, junat kulkevat suurimman osan ajasta aikataulun mukaan. Hän tarkoittaa tällä sitä, että luotettavassa liikenteessä suurin osa matkustajista ja tavarasta saapuu aikataulun mukaisesti määränpäähän. Määritelmässään Vromans ei kiellä, ettei osa junista voisi olla viivästyneitä tai peruttuja, mutta että näiden osuus on vähäinen.

Väitöskirjansa teoriaosuudessaan Vromans kuvaa Alankomaiden rautatiejärjestelmää ja täsmällisyyden kehitystä siellä sekä yleisiä perusteita aikataulusuunnittelusta, häiriöistä liikenteessä, sekä häiriöiden seurauksia muun muassa ketjuuntumisen näkökulmasta. Hän kuvaa myös suorituskkyä rautatieliikenteessä ja mahdollisuuksia mitata sitä, erityisesti luotettavuuden mittaamista.

Väitöskirjassa tarkastellaan myös luotettavuutta osana liikenteen laatua ja esitellään muut laadun osatekijät. Vromans esittää erilaisia lähestymistapoja ja menetelmiä, joilla luotettavuutta on tutkittu. Väitöskirja tarkastelee paikoin luotettavuutta samoista näkökulmista kuin täsmällisyyttä tarkastellaan tässä kirjallisuuskatsauksessa. Toisaalta Vromans lähestyy asiaa hyvin matemaattisesti, hyödyntäen voimakkaasti  $\max$ -algebraa ja simulointia. Muita käsiteltäviä teemoja ovat aikatauluihin lisäävät pelivarat (*running time supplements*), liikenteen heterogeenisyys ja sen mittaaminen sekä aikatauluoptimointi viiveiden minimoinnin ja täsmällisyyden maksimoinnin kautta.

VROMANS & DEKKER & KROON. JOURNAL ARTICLE 2006.  
**RELIABILITY AND HETEROGENEITY OF RAILWAY SERVICES**

Edellä esitetyn väitöskirjan teemoja käsittelevässä julkaisussa Vromans et al. (2006) toteavat luotettavuuden olevan merkittävä asia sekä tavara- että matkustajaliikenteessä ja yksi hallitsevimista suorituskvyn mittareista rautateillä. Artikkelissa keskitytään tarkastelemaan matkustajaliikennettä. Luotettavuutta arvioidaan mittaamalla keskimääräisiä myöhästymisiä sekä havaittuja myöhästymisiä.

Luotettavuutta voitaisiin kirjoittajien mukaan parantaa vähentämällä myöhästymisten ketjuuntumista lisäämällä junien riippumattomuutta toisistaan. Junaliikenteen homogeenisyydellä voidaan lisätä täsmällisyyttä, mutta kaikki vaikutukset eivät ole välttämättä positiivisia, ja ne tuleekin tutkia tarkkaan ennen muutosten tekoa.

Artikkeli on laadittu Vromansin (2005) väitöskirjaprosessiin liittyvän rautatiejärjestelmän luotettavuutta käsittelevän tutkimuksen perusteella.

#### **8.4.2 Matka-ajan luotettavuuden ja pysähdysten vaikutukset työmatkaliikenteen kulkumuodon valintaan**

BHAT & SARDESAI. JOURNAL ARTICLE 2006.  
**THE IMPACT OF STOP-MAKING AND TRAVEL TIME RELIABILITY ON COMMUTE MODE CHOICE**

Bhat ja Sardesai (2006) ovat tutkineet työmatkaliikenteen kulkutavan valintaa ja matka-ajan luotettavuuden vaikutuksia. Aiempien tutkimusten perusteella matka-ajan luotettavuus on havaittu tärkeäksi tekijäksi työmatkoilla. Työmatkaliikenteessä matka-ajan luotettavuus konkretisoituu etuajassa tai myöhässä saapumisena määränpäähän. Erityisesti työssäkäyville, joiden työaika ei ole joustava tästä aiheutuu haittaa. Haitta voi ilmetä kustannuksina, joista käytetään termiä matkan epävarmuuskustannus.



Tekijät toteavat, ettei matka-ajan luotettavuuden merkityksestä ole tehty juurikaan empiiristä tutkimusta. Artikkelissa esitetään, että matka-ajan epävarmuus on merkittävä palvelun laadun mittari ja se tulisi ottaa huomioon tutkimuksissa. Erityisesti tutkimuksessa havaittiin, että matka-ajan luotettavuus, matkan kustannukset ja asemien palvelut vaikuttavat merkittävästi rautatieliikenteen käyttöön työmatkoilla.

Artikkelissa viitataan useaan matka-ajan luotettavuutta käsitelleeseen julkaisuun. Seuraaviin julkaisuihin ja tekijöihin on viitattu myös useissa julkaisuissa:

- Noland, R.B. & Small, K.A. 1995. Travel time uncertainty, departure time choice and the cost of morning commutes. *Transportation Research Record* 1493, p. 150–158.
- Small, K.A. 1982. The scheduling of consumer activities: work trips. *American Economic Review*, Vol. 72, p. 467–479.
- Polak, J.W. 1987. Travel time variability and departure time choice: a utility theoretic approach. Discussion Paper 15, Transport Studies Group, University of Westminster.

#### **8.4.3 Luotettavuuden lisäämistä käsitteleviä muita julkaisuja**

CLAESSON & DAHL & LINDH. MAGAZINE ARTICLE 1989.

##### **VALUE OF RELIABILITY IN PASSENGER TRAIN OPERATIONS**

Claesson et al. (1989) toteavat, että keino houkutella lisää asiakkaita ja kuljetettavaa tavaraa on parantaa täsmällisyyttä. Selvittääkseen matkustaja- ja rahtimäärien ja täsmällisyyden välistä yhteyttä kirjoittajat ovat tutkineet matkustajaliikenteen viiveitä Ruotsissa ja pyrkineet kuvaamaan primääristen viiveiden syitä ja vaikutuksia. Tavoitteena on ollut simuloida näiden vaikutuksia järjestelmään ja arvioida viiveiden taloudellisia vaikutuksia ekonometrisella mallilla.

BATES & POLAK & JONES & COOK. JOURNAL ARTICLE 2001.

##### **THE VALUATION OF RELIABILITY FOR PERSONAL TRAVEL**

Bates et al. (2001) kuvaavat yleisen matka-ajan luotettavuuden teorian kehitystä ja toteaa, että sitä on kehitetty käytännön tasolla, mutta teoriaa kuvaavia artikkeleita on kirjoitettu vähän. Verrattuna ajan säästämiseen tai menettämiseen liittyviin tutkimuksiin ajan arvoa on tutkittu vähän. Artikkelissa todetaan, että matka-ajan luotettavuus on tärkeää tavaraliikenteessäkin, vaikka itse artikkeli käsittelee luotettavuutta matkustajaliikenteen näkökulmasta.

Matkustajan näkökulmasta luotettavuus liittyy läheisesti matka-ajan tilastolliseen vaihteluun. Tilastollisen vaihtelevuuden (varianssin) mittaaminen on riippuvainen odotetusta arvosta, joka matkustajan tapauksessa on aikataulun mukainen matkan kesto tai saapumisaika. Kirjoittajien mukaan matkustaja pystyy ennakoimaan matka-ajan vaihtelua ja sen seurauksia. Luotettavuutta onkin vaikea mitata sen kompleksisen luonteen johdosta.

CAREY. JOURNAL ARTICLE 1994.

#### **RELIABILITY OF INTERCONNECTED SCHEDULED SERVICES**

Artikkelissa käsitellään aikataulutetun matkustajaliikenteen suorituskykyä, käyttäen pääasiassa esimerkkinä rautatieliikennettä. Carey (1994) kuvaa erilaisia luotettavuuden ja suorituskyvyn mittareita aikataulutetuille palveluille ja näyttää kuinka mittareita käytetään. Hän esittää myös millaisia ominaisuuksia luotettavuuden mittaamisella on.

YIN & LAM & MILLER. JOURNAL ARTICLE 2003.

#### **A SIMULATION-BASED RELIABILITY ASSESSMENT APPROACH FOR CONGESTED TRANSIT NETWORK**

Yin et al. (2003) kuvaavat kehittämänsä simulointipohjaista lähestymistapaa liikenteen palvelun luotettavuuteen. Artikkelin ei käsittele yksistään rautatieliikennettä ja esimerkiksi siinä esiin nostettu tapaustutkimus on linja-autoliikenteestä. Artikkelissa tarkastellaan luotettavuutta ottaen huomioon verkon suorituskyky ja matkustajien reitinvalinta. Kirjoittajat jakavat luotettavuuden kolmeen erityyppiseen ryhmään: järjestelmän matkustajan luotettavuuteen, aikataulun luotettavuuteen ja suoraan odotusajan luotettavuuteen.

HOUBEN & RIETVELD & VAN HAGEN & DAAMEN & MOLTZER. REPORT 2006.

#### **IMPORTANCE OF RELIABILITY FOR TRANSPORTATION CHAINS. SUBJECTIVE VERSUS OBJECTIVE RELIABILITY: CHANCES FOR INCENTIVES?**

Houben et al. (2006) tarkastelevat muun muassa sitä, kuinka tärkeää luotettavuus on asiakkaan kannalta. Artikkelissa käsitellään kattavasti luotettavuutta kuljetusketjuissa ja tarkastellaan epätasaisuuden syitä ja seurauksia, erityisesti matkustajien näkökulmasta. Tutkimusta on tarkasteltu enemmän myöhästymisten seurauksien (luku 7.4) yhteydessä.

DEJAX & BOOKBINDER. JOURNAL ARTICLE 1991.

#### **GOODS TRANSPORTATION BY THE FRENCH NATIONAL RAILWAY (SNCF): THE MEASUREMENT AND MARKETING OF RELIABILITY**

Dejax ja Bookbinder (1991) tarkastelevat luotettavuutta tavaraliikenteessä. He käsittelevät tapoja, joilla voidaan mitata, tarkkailla ja markkinoida luotettavuutta.

#### **8.4.4 Yhteenveto ja johtopäätökset**

Luotettavuuden parantaminen -teeman alle luokiteltuja artikkeleja oli paljon. Määrä voi olla suuri johtuen siitä, että täsmällisyyttä ja luotettavuutta käytetään osin synonyymeinä kuvaamaan sitä, että liikenne sujuu aikataulun mukaisesti. Luotettavuus on hyvin laaja käsite ja myös kirjallisuudessa sitä on käytetty hyvin laajasti. Luotettavuutta kuvaavia määritelmiä on löydettävissä paljon.

Luotettavuus tai täsmällisyys ei määritelmän perusteella kuvaa esimerkiksi viiveiden suuruuksia. Heikko luotettavuus kuitenkin aiheuttaa vaikutuksia niin matkustaja- kuin tavaraliikenteessäkin. Luotettavuuden heikkeneminen voi vaikuttaa esimerkiksi matkustajien kulkumuodon valintaan, kuten Bhat ja Sardesai (2006) artikkelissaan esittävät.

Luotettavuutta on tutkittu paljon erilaisista näkökulmista ja erilaisin menetelmin. Asiaa on tutkittu lähestymällä liikenteen heterogeenisyyden ja luotettavuuden yhteyttä,

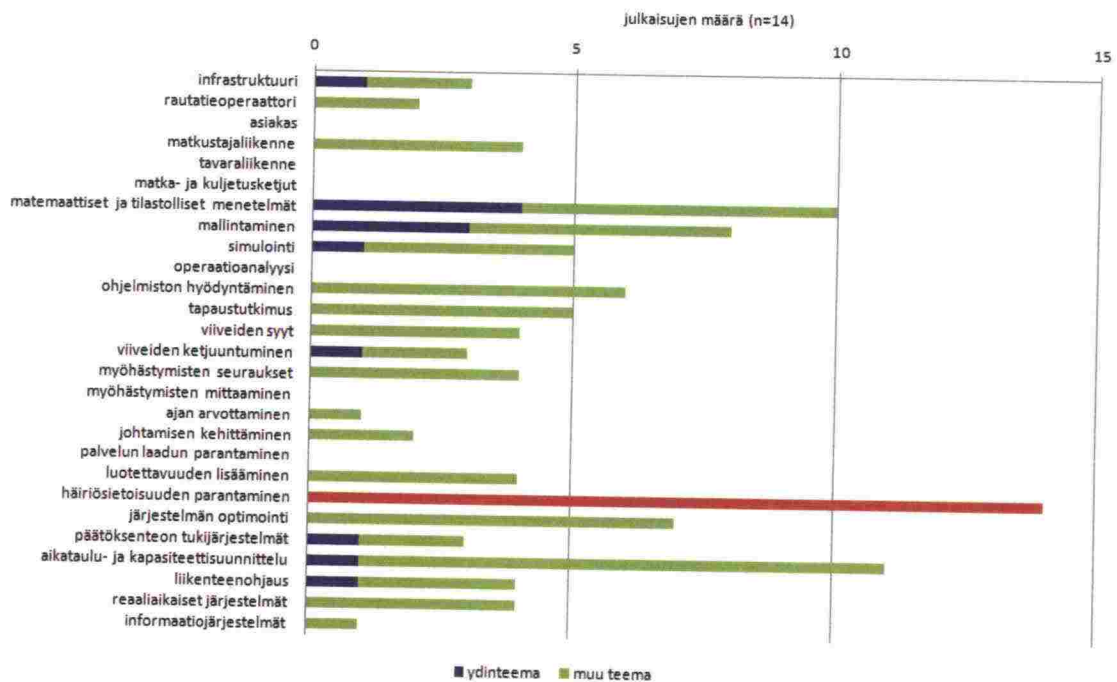


tutkimalla luotettavuuden arvoa sekä selvittämällä sen merkitys matkaketjuissa. Luotettavuuden mittaaminen nousee esiin myös tutkimuksessa, sen rooli on suuri myös rautatieliikenteen käytännön kehitystyössä. Luotettavuuden empiiristä tutkimusta on kuitenkin vähän.

## 8.5 Häiriösietoisuuden parantaminen

Liikennejärjestelmän häiriösietoisuudella (*robustness*) tarkoitetaan, kuinka hyvin järjestelmä kokonaisuutena sietää erilaisia poikkeamia, kuten viiveitä. Häiriösietoisessa järjestelmässä etenkin pienten häiriöiden vaikutus absorboituu eli häviää siten, että ne eivät vaikuta muun järjestelmän toimintaan. Aikataulusuunnittelussa häiriösietoisuutta voidaan lisätä pelivaralla, jolloin pienet poikkeamat aikataulusta eivät vaikuta muiden junien liikennöintiin. Usein häiriösietoisuuden parantaminen liittyykin aikataulusuunnitteluun ja liikenteenohjaukseen. Tässä luvussa tarkastellaan julkaisuja, joissa keskeisenä kehitystavoitteena on häiriösietoisuuden parantaminen.

Kuvassa 8.4 on esitetty ne 14 artikkelia, joiden ydinteemana katsottiin olevan häiriösietoisuuden parantaminen.



Kuva 8.4 Ydinteeman HÄIRIÖSIETOISUUDEN PARANTAMINEN kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat.

Kuvasta voidaan tulkita kaksi asiaa: Häiriösietoisuuden parantamiseen pyritään usein matemaattisin ja tilastollisin menetelmin sekä mallintaen. Lisäksi häiriösietoisuuden parantaminen näyttää liittyvän voimakkaasti aikataulu- ja kapasiteettisuunnitteluun. Toisin sanoen pyrkimyksenä näyttää olevan suunnitella sellaisia aikatauluja, jotka sietäisivät erilaisia häiriöitä mahdollisimman hyvin.

Raportin liitteenä on luettelo häiriösietoisuuden parantaminen -teemaa käsittelevistä julkaisuista. Mukana on 44 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus).

Seuraavassa esitellään laajasti kolme teeman julkaisua ja lisäksi joukko muita hieman suppeammin. Teeman yhteenveto on luvussa 8.5.5.

### 8.5.1 Viiveidenhallinnan ongelma: kompleksiset tulokset ja robustit algoritmit

CICERONE & D'ANGELO & DI STEFANO & FRIGIONI & NAVARRA. CONFERENCE PROCEEDINGS 2008.

#### DELAY MANAGEMENT PROBLEM: COMPLEXITY RESULTS AND ROBUST ALGORITHMS

Cicerone et al. (2008) ovat tutkineet matkustajajunien aikataulusuunnittelun ongelma-kohtia siltä kannalta, että myöhästymisiä saattaa tapahtua sekä aavistamattomien että myös tunnettujen (*bounded*) tapausten johdosta. Artikkelissa analysoidaan aikataulusuunnittelun ja myöhästymisenhallinnan välistä vuorovaikutusta elpyvän häiriösietoisien mallin (*recoverable robustness model*) suhteen. Aihetta tarkastellaan tunnettujen myöhästymissyiden rajoissa. Artikkelissa todetaan, että strategisen ja operatiivisen suunnittelun tavoitteet saattavat olla ristiriidassa ja että on olennaista ymmärtää näiden kahden vaiheen tavoitteiden välinen vuorovaikutus. Viiveidenhallintaongelmalla tarkoitetaan päätöksenteon vaikeutta silloin, kun täytyy taata vaihtoyhteys myöhästyneestä junasta vaihtoyhteyteen.

Kirjoittajat osoittavat, että optimaalisen ratkaisun löytäminen käsiteltävään ongelmaan on NP-vaikea (*non-deterministic polynomial-time hard*). Ongelmaa voi kirjoittajien mukaan lähestyä kahdella tavalla: 1) käyttää elpymisstrategiaa aikatauluun, joka on määritelty strategisen suunnittelun vaiheessa, ja yrittää nopeasti muokata uusi käyttökelpoinen aikataulu, joka ottaa huomioon esiintyneet myöhästymiset; 2) suunnitella aikataulu jo strategisessa suunnitteluvaiheessa sellaiseksi, että sillä pystytään reagoimaan mahdollisiin häiriöihin. Jälkimmäistä suunnittelustrategiaa kutsutaan häiriösietoiseksi optimoinniksi.

Elpyvään häiriösietoiseen malliin on johtanut juuri häiriösietoisuuden ja elpymisen yhdistetty huomioiminen, ja artikkelissa tätä mallia sovelletaan aikataulusuunnitteluun ja myöhästymisenhallintaongelmaan. Koska ongelma on NP-vaikea, kirjoittajat esittävät häiriösietoisten algoritmien käyttöä ja osoittavat kyseisten algoritmien olevan optimaalisia tietyin rajoituksin. Mallissa aikataulun optimointiongelma muunnetaan palautuvaksi häiriösietoisuusongelmaksi. Ongelmanratkaisussa vaikuttavat tietyt tapahtumat (lähteminen ja saapumien) ja toiminnot (odottaminen, kulkeminen ja vaihtaminen).

Aikataulusongelman ratkaisu edellyttää kestoajkojen määrittämistä jokaiselle tapahtumalle toimintojen asettamien rajoitusten sisällä. Halutaan löytää ratkaisu aikataulusongelmalle minimoimalla samalla matkustajien kokonaismatkustusaika. Artikkelin mukaan yleisesti ottaen toteuttamiskelpoinen ratkaisu aikataulusongelmalle ei pysty käsittelemään toimintoihin vaikuttavia mahdollisia myöhästymisiä, eikä toimintoihin sisällytetty pelivara riitä myöhästymisen absorboimiseksi.

Kirjoittajat muuntavat aikataulusongelman elpyväksi häiriösietoiseksi viiveidenhallintaongelmaksi (*robust delay management problem*, *RDM problem*) nostamalla



myöhästyneen toiminnon minimikestoaikaa. Kirjoittajat käsittelevät artikkelissa häiriösietoisen viiveidenhallinnan laskennallista monimutkaisuutta todeten ongelman olevan NP-vaikea. Ongelma on kuitenkin tietyin metodein ratkaistavissa, kun asetetaan tiettyjä rajoituksia, kuten muuttumaton matkustajamäärä.

Kirjoittajat esittelevät algoritmit, joita käyttämällä kriittisellä polun suunnittelu- menetelmällä saadaan laskettua aikataulu ja sen toiminnoille muuttumattomat suhteelliset puskurajat (*proportional buffering*). Artikkelissa esitetään myös algoritmit häiriösietoisen aikataulun hinnan laskemiseen. Lopuksi kirjoittajat toteavat häiriösietoiset optimoinnin tutkimuksen olevan alkuvaiheessa ja heidän tutkimuksensa olevan ensimmäinen askel häiriösietoisten aikataulujen tutkimuksessa.

Artikkelissa on viitattu seuraaviin rautatieliikenteen täsmällisyyttä käsitteleviin julkaisuihin:

- De Giovanni, L. & Heilporn, G. & Labbé, M. 2007. Optimization models for the delay management problem in public transport. *European Journal of Operational Research*, Vol. 189, Issue 3, p. 762–774. (artikkelin aihepiirit: intermodaalit vaihtoyhteydet, myöhästymisenhallintaongelma, mixed integer linear programming)
- Schöbel, A. 2004. A model for the delay management problem based on mixed integer programming. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, Vol. 50, Issue 1, p. 1–10.
- Cicerone, S. & D'Angelo, G. & Di Stefano, G. & Frigioni, D. & Navarra, A. 2007. Robust algorithms and price of robustness in shunting problems. *Proceedings of the 7th Workshop on Algorithmic Approaches for Transportation Modeling, Optimization, and Systems (ATMOS)*, p. 175–190.

### 8.5.2 Vakioaikataulujen stokastinen parantaminen

KROON & MARÓTI & HELMRICH & VROMANS & DEKKER. JOURNAL ARTICLE 2008.  
STOCHASTIC IMPROVEMENT OF CYCLIC RAILWAY TIMETABLES

Kroon et al. (2008) käsittelevät stokastista optimisointimallia (*stochastic optimization model*), jonka avulla lisäaika ja pelivara voidaan allokoida aikatauluun siten, että aikataulusta tulee mahdollisimman häiriösietoinen stokastisia häiriötekijöitä vastaan. Jaksoittaisen aika-akselin käyttö mahdollistaa paremman matkustajajunayhteyksien ja muiden jaksoittaisten yhteyksien huomioonottamisen. Kirjoittajat toteavat, että lisäaikojen ja pelivaran (*time supplements, buffer times*) allokoinnilla voidaan parantaa aikataulun häiriösietoisuutta vain pienten häiriöiden varalle. Suurempia häiriötekijöitä varten tarvitaan liikenteenohjaustoimenpiteitä. Artikkelissa mainitaan, että junien täsmällisyyden maksimointi on paljon vaikeampaa kuin junien keskimääräisten myöhästymisten minimointi. Kirjoittajat toteavat täsmällisyyttä pystyttävän parantamaan epäsuorasti rankaisemalla täsmällisyysmarginaalin ylittäneitä myöhästymisiä enemmän kuin muita myöhästymisiä. Artikkelin mukaan rautatieliikenteen täsmällisyyden analysointiin ja parantamiseen on kehitetty pääosin simulaatiomalleja, max-plus-algebraan perustuvia malleja ja analyttisiä malleja.

Kirjoittajien kehittämä malli on simulaatiomallin ja optimointimallin yhdistelmä ja perustuu jaksoittaiseen aika-akseliin. Aikataulu optimoidaan allokoimalla suunnitellut

lisä- ja puskurijat uudelleen aikatauluun tavoitteena minimoida junien keskimääräinen myöhästyminen. Jo suunnitellun aikataulun perusrakenne jätetään ennalleen, joten liikenteenohjaustoimenpiteitä ei käytetä. Mallissa prosesseihin lisätään tai niistä vähennetään vain maksimissaan kaksi minuuttia, joten malli muuttaa suunniteltua aikataulua vain marginaalisesti. Artikkelin stokastisessa optimointimallissa on kaksi osaa: aikatauluttaminen ja simulaatiovaihe, jossa arvioidaan rakenteilla olevan aikataulun häiriösietoisuutta.

Mallia testattiin Alankomaiden matkustajajunien pääoperaattorilla. Mallilla oli positiivinen vaikutus testatun kohteen täsmällisyyteen. Pienillä häiriötekijöillä myöhästymiset vähenivät, mutta suurempien häiriöiden sattuessa positiivista vaikutusta ei juurikaan havaittu. Aikataulujen muokkaamisen kokonaisvaikutus on kuitenkin positiivinen, ja tutkimustulosten mukaan junien keskimääräistä myöhästymistä voidaan vähentää suhteellisin pienin muutoksin laadittuun aikatauluun.

Artikkelissa on viitattu muun muassa seuraaviin julkaisuihin:

- Ferreira, L. & Higgins, A. 1996. Modeling the reliability of train arrival times. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 22, Issue 6, p. 414–420.
- Retel Helmrich, M. J. 2006. Improving robustness of a railway timetable through stochastic optimization of supplementary times. M. Sc. Thesis, Erasmus University Rotterdam, Rotterdam School of Economics.
- UIC. 2000. Timetable recovery margins to guarantee timekeeping – recovery margins. Leaflet 451-1.

### 8.5.3 Rautatietoimintojen täsmällisyys ja aikataulujen vakausanalyysi

GOVERDE. DISSERTATION 2005.

#### PUNCTUALITY OF RAILWAY OPERATIONS AND TIMETABLE STABILITY ANALYSIS

Goverden (2005) väitöskirja käsittelee rautatieliikenteen täsmällisyyttä ja rautatieliikenteen aikataulujen analysointia Alankomaiden näkökulmasta. Aikataulujen häiriösietoisuutta sivutaan juna-aikataulujen stabiiliuden analyysia käsittelevän luvun alla. Luvussa käsitellään lineaarisen max-plus-järjestelmän käyttöä aikataulujen mallintamisessa, ja näiden lineaaristen järjestelmien analysointia algoritmien avulla stabiiliuden, toteutettavuuden, häiriösietoisuuden ja viiveiden ketjuuntumisen suhteen. Kirjoittajat esittelevät häiriösietoisuutta käsittelevässä alaluvussa kriteerejä stabiiliudelle ja häiriösietoisuudelle sekä niihin liittyviä suoritusmittareita. On myös tunnistettu aikatauluihin tai infrastruktuuriin liittyviä aikataulun stabiiliuteen ja häiriösietoisuuteen vaikuttavia kriittisiä prosesseja ja resursseja. Löydöksiä on sovellettu päätöksentekotyökalu PETERiin (Performance Evaluation of Timed Events in Railways), joka myös esitellään artikkelissa.



Rautatieverkon suoritusmittareita ovat minimikierrosaika (*cycle time*), kapasiteetti (*throughput*) ja stabiiliusvara (*stability margin*). Aikataulun elpymisaikojen mittareita ovat viivästymisten ketjuuntumisvektorit (*delay impact vectors*), viivästymis-herkkyysmittarit (*delay sensitivity vectors*) ja liikenteen elpymisajat (*circulation recovery times*). Viivästymisten ketjuuntumiseen liittyviä tunnuslukuja ovat kokonais-sekundääriviive, myöhästyneiden junien lukumäärä, sekundääriviiveiden keskiarvo ja elpymisaika. Erityisen hyviä mittareita häiriösietoisuuden analysointiin kirjoittajien mukaan ovat elpymisaikamatriisi ja viivästymisten ketjuuntumisalgoritmit. Elpymis-aikamatriisin diagonaalilta voi lukea liikenteen elpymisaikojen arvot, jotka osoittavat jokaiselle tapahtumalle minimikokonaispelivaran. Matriisista pystytään myös arvioimaan aikataulun tiivyyttä ja sitä, kuinka herkkä aikataulu on viivästymisille sekä kuinka viivästymiset ketjuuntuvat. Häiriösietoisuutta voidaan arvioida myös viiveiden ketjuuntumisalgoritmien avulla, joka tuottaa tietoa elpymisajoista.

GOVERDE. CONFERENCE PROCEEDINGS 2007.

#### **RAILWAY TIMETABLE STABILITY ANALYSIS USING MAX-PLUS SYSTEM THEORY**

Goverde on laatinut väitöskirjansa aihepiiristä myös muita julkaisuja. Hän käsittelee juna-aikataulujen stabiiliuden analyysia max-plus-järjestelmäteorian avulla konferenssi-artikkelissaan (Goverde 2007). Muita hänen julkaisujaan ovat muun muassa:

- Goverde, R.M.P. 1998. Synchronization control of scheduled train services to minimize passenger waiting times. Proceedings of the 4th TRAIL Year Congress, Part 2. TRAIL Research School, Delft.
- Goverde, R.M.P. & Odijk, M.A. 2002. Performance evaluation of network timetables using PETER. Computers in Railways VIII, p. 731–740. WIT Press.
- Goverde, R.M.P. & Soto y Koelemeijer, G. 2000. Performance evaluation of periodic railway timetables: theory and algorithms. TRAIL Studies in Transportation Science, No. S2000/2. Delft University Press.

Hän myös viittaa moniin muihin julkaisuihin, kuten:

- Van Egmond, R.J. 1998. Propagation of delays in public transport. Reports of the Faculty of Technical Mathematics and Informatics 98-39, Delft University of Technology.

#### **8.5.4 Häiriösietoisuuden parantamista käsitteleviä muita julkaisuja**

Edellisten lisäksi häiriösietoisuutta on käsitelty myös lukuisissa muissa tutkimuksissa. Seuraavaksi esitellään lyhyesti niistä muutama.

CHANDESISRIS. CONFERENCE PROCEEDINGS 2006.

#### **STATISTICAL METHOD FOR THE EVALUATION OF RAILWAY SYSTEMS MODIFICATIONS**

Chandesrisin (2006) tavoitteena on ollut kehittää Ranskan Valtionrautateille (SNCF) tilastollisia menetelmiä rautatieverkon häiriöherkkyyden arvioimiseen ja kehittää näihin menetelmiin perustuva päätöksentekotyökalu. Toisin kuin aikaisemmissa häiriöherkkyytutkimuksissa, joihin on otettu mukaan vain muutamia viivästymisiin liittyviä muuttujia, tässä tutkimuksessa otetaan huomioon häiriöherkkyyden arvioimiseen liittyvät stokastiset ulottuvuudet.

PETERSEN & TAYLOR. JOURNAL ARTICLE 1987.

# **DESIGN OF SINGLE-TRACK RAIL LINE FOR HIGH-SPEED TRAINS**

Petersen ja Taylor (1987) esittävät menetelmän luotettavan ja nopean matkustajaliikenteen yksiraiteisen rataosan suunnitteluun. Kirjoittajat arvioivat järjestelmän häiriöherkkyyttä pienille viivästymisille; häiriöherkkyys huomattaville viivästymisille ja hitaammalle liikenteelle sisällytetään analyysiin lisäsivuraiteiden hankkimisesta. Lopuksi verrataan simulaation avulla toisiaan vastaavien yksi- ja kaksiraiteisten rautateiden suorituskykyä toisiinsa.

BARTER. CONFERENCE PROCEEDINGS 2004.

# **FORECASTING ROBUSTNESS OF TIMETABLES**

Barter (2004) tarkastelee rautatieverkon kapasiteetin ja käytön perusmittareita sekä aikataulujen häiriösietoisuuden ennustamista. Kirjoittajat huomasivat, että mikä tahansa, mikä vähentää kapasiteetin ja häiriösietoisuuden ennustamiseen liittyvää epävarmuutta, mahdollistaa paremman tasapainon saamisen häiriösietoisuuden sekä liiallisen varautumisen ja liian vähäisen käytön välille.

DE SCHUTTER & VAN DEN BOOM & HEGYI. JOURNAL ARTICLE 2002.

# **MODEL PREDICTIVE CONTROL APPROACH FOR RECOVERY FROM DELAYS IN RAILWAY SYSTEMS**

De Shutter ja Van den Boom (2002) esittelevät *model predictive control (MPC)* -lähestymistavan, jolla hallitaan rautatieverkon viivästymisistä elpymistä. MPC:n pää-tavoitteena on viivästymisistä elpyminen yhteyksiä katkaisemalla tietyissä kustannus-rajoissa. Artikkelissa esitellään myös viitekehyksen laajennus, jossa viivästymisistä elpymisessä käytetään keinoa nostaa junien liikennenopeuksia normaalista tasosta, mutta ottaen taas huomioon kustannukset.

SALIDO & BARBER & INGOLOTTI. JOURNAL ARTICLE 2008.

# **ROBUSTNESS IN RAILWAY TRANSPORTATION SCHEDULING**

Salido et al. (2008) esittelevät suuntaviivoja junien aikatauluttamisen häiriösietoisuuden mittaamiseen ja kehittämänsä kaavan kahden eri aikataulun häiriösietoisuuden vertaamiseen keskenään. Artikkelissa käsitellään hyvin aihetta ja sivutaan melko läheltä luotettavuutta, sillä kirjoittajat tuntuvat käsittelevän häiriösietoisuutta osittain synonyymina luotettavuudelle. Artikkelin lähteistä kirjattiin ylös kaksi täsmällisyyteen liittyvää julkaisua:

- Mattson, L. G. Train service reliability: A survey of methods for deriving relationship for train delays.
- Tomii, N. 2005. Robustness indices for train scheduling. 1st International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis.



HOOGHIEMSTRA & TEUNISSE. CONFERENCE PROCEEDINGS 1998.

#### USE OF SIMULATION IN THE PLANNING OF THE DUTCH RAILWAY SERVICES

VAN DEN BOOM & DE SCHUTTER. CONFERENCE PROCEEDINGS 2004.

#### MODELING AND CONTROL OF RAILWAY NETWORKS

Hooghiemstra ja Teunisse (1998) käsittelevät simulaation käyttöä Alankomaiden rautatiepalveluiden aikataulujen suunnittelussa ja häiriösietoisuuden arvioinnissa. Van den Boom ja de Shutter (2004) puolestaan tarkastelevat rataverkkojen mallintamista ja hallintaa, joiden tavoitteena on toipua viivästymisistä aiheutuvista häiriöistä.

Myös Suomessa on tehty aiheeseen liittyvää tutkimusta: Sipilä (2008) tarkastelee diplomityössään, kuinka rautatieliikenteen häiriöiden analysointia voitaisiin kehittää.

#### 8.5.5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Häiriösietoisuuteen liittyvää tutkimusta on tehty suhteellisen paljon. Useimmiten tutkimukset liittyvät aikataulu- ja kapasiteettisuunnitteluun. Tutkimus on hyvin matemaattista, ja mallinnus- ja simulointimenetelmiä käytetään paljon. Tutkimuksien tavoitteena on mahdollisimman häiriösietoisten aikataulujen luominen, olemassa olevien aikataulujen häiriösietoisuuden analysointi tai erilaisten aikatauluskenaarioiden häiriösietoisuuden ennustaminen.

Teemaan liittyvä tutkimus on siis melko erikoistunutta. Näin ollen tarjolla on monia näkökulmia, joilla uutta tutkimusta voisi tehdä. Esimerkiksi seuraaviin tutkimusteemoihin olisi mielenkiintoista etsiä vastauksia:

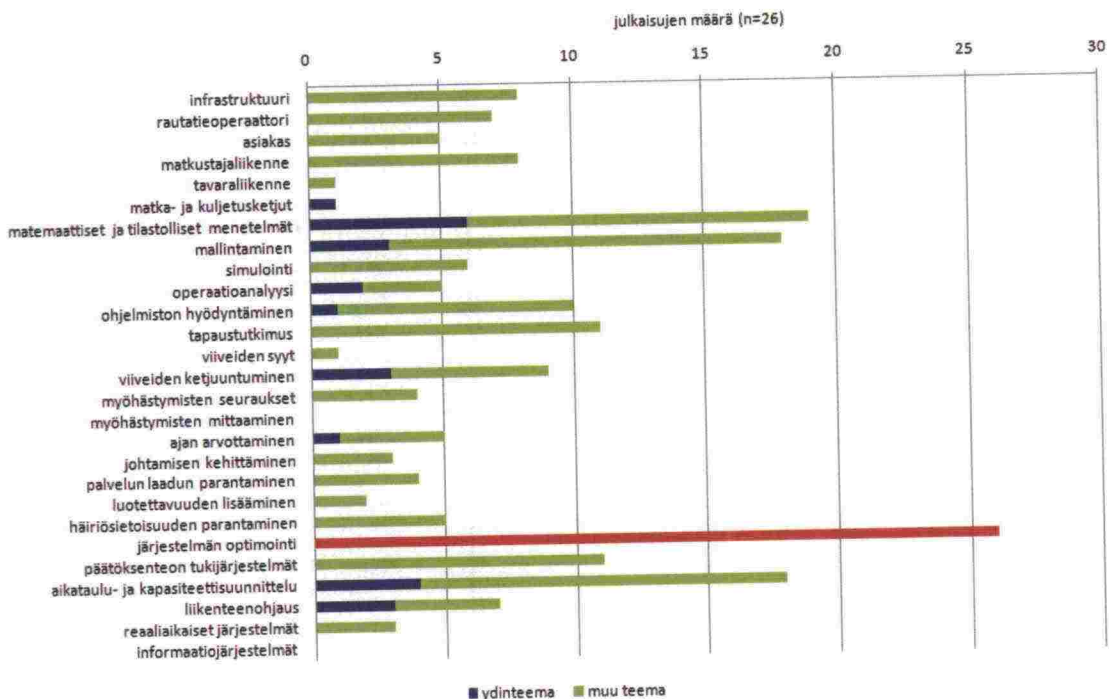
- Asiakasnäkökulman liittäminen häiriösietoisuuteen: esimerkiksi milloin edellytetään tavallista suurempaa häiriösietoisuutta?
- Taloudellisen tarkastelun liittäminen häiriösietoisuuteen: mitkä ovat häiriösietoisuuden parantamisen hyödyt kustannuksiin verrattuna?
- Häiriösietoisuuden kytkeminen häiriöiden syihin: onko parempi varautua häiriöihin vai pyrkiä vähentämään niiden riskiä?
- Häiriösietoisuuden parantamisen keinovalikoiman laajentaminen: mitä muita keinoja on parantaa häiriösietoisuutta aikataulusuunnittelun ja muun muassa siihen sisältyvän pelivaran lisäksi?

#### 8.6 Järjestelmän optimointi

Optimointi tarkoittaa toimintaa, jossa pyritään jonkin asian minimointiin tai maksimointiin tiettyjen reunaehtojen vallitessa. Täsmällisyyden yhteydessä tämä voi tarkoittaa esimerkiksi kokonaisviiveiden minimointia tai kapasiteetin maksimointia pelivaraa pienentämällä – ja samalla täsmällisyyttä kasvattamalla. Usein tutkimusmenetelmänä ovat erilaiset operaatioanalyysin sovellukset. Tässä luvussa tarkastellaan tutkimuksia, joissa päätavoitteena on järjestelmän optimointi siten, että asiaa tarkastellaan täsmällisyyden parantamisen näkökulmasta.

Teemaan sopivia julkaisuja löytyi suhteellisen paljon. Kuvassa 8.5 on esitelty ne 26 julkaisua, joissa järjestelmän optimoinnin katsottiin olevan tutkimuksen ydinteema. Kuvasta voidaan päätellä, että optimointitavoitteisiin pyritään pääasiassa matemaattisin

ja tilastollisin menetelmin. Optimoitavana kohteena puolestaan on pääasiassa aikataulu- ja kapasiteettisuunnitteluun ja liikenteenohjaukseen liittyvät asiat.



Kuva 8.5 Ydinteeman JÄRJESTELMÄN OPTIMOINTI kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat.

Raportin liitteenä on luettelo järjestelmän optimointi -teemaa käsittelevistä julkaisuista. Mukana on 68 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus).

Seuraavassa luvussa 8.6.1 on esitelty muutama järjestelmän optimoinnin näkökulmasta keskeinen julkaisu. Sen jälkeen on lukuun 8.6.2 koottu muita teemaan kuuluvia julkaisuja. Luvussa 8.6.3 esitetään yhteenveto ja johtopäätökset.

### 8.6.1 Täsmällisyyden kannalta keskeisiä järjestelmän optimointia käsitteleviä julkaisuja

YUAN & HANSEN. CONFERENCE PROCEEDINGS 2004.

**ANALYSIS OF SCHEDULED AND REAL CAPACITY UTILISATION AT A MAJOR DUTCH RAILWAY STATION**

YUAN & HANSEN. JOURNAL ARTICLE 2007.

**OPTIMIZING CAPACITY UTILIZATION OF STATIONS BY ESTIMATING KNOCK-ON TRAIN DELAYS**

YUAN & HANSEN. CONFERENCE PROCEEDINGS 2008.

**CLOSED FORM EXPRESSIONS OF OPTIMAL BUFFER TIMES BETWEEN SCHEDULED TRAINS AT RAILWAY BOTTLENECKS**

Yuan ja Hansen (2004) analysoivat konferenssiartikkelissaan aikataulutetun ja todellisen kapasiteetin käyttöä Den Haag HS -rautatieasemalla. Analyysi perustuu junien ajotietokoneiden tuottamaan dataan ja osoittaa, että asemien todellinen käyttöaste



on paljon aikataulutettua suurempi johtuen erilaisista viiveistä ja niiden ketjuuntumisvaikutuksista.

Toisin sanoen aseman suuri käyttöaste ja erityisesti pienet junien väliset ajat lisäävät voimakkaasti viiveiden ketjuuntumista ja heikentävät siten järjestelmän täsmällisyyttä. Tutkimuksen perusteella kirjoittajat esittelevät lukuisia strategioita, joilla saavutetaan optimaalinen kompromissi asemakapasiteetin käytön ja halutun täsmällisyydestason välillä. Kirjoittajien mukaan tällaiseen optimointiin ei aikaisemmin ole ollut työkaluja.

Vuonna 2007 julkaistussa artikkelissaan Yuan ja Hansen (2007) esittelevät analyyttisen stokastisen mallin, jolla voidaan tarkastella viiveiden ketjuuntumista asemilla ja solmukohtissa. Mallin avulla voidaan muun muassa maksimoida infrastruktuurin kapasiteetti tietyllä täsmällisyydestasolla. Tätä julkaisua on tarkasteltu laajasti luvussa 7.3 Viiveiden ketjuuntuminen.

Uusimmassa artikkelissaan Yuan ja Hansen (2008) pyrkivät optimoimaan aikataulutettujen junien välisiä puskuriaikoja verkon pullonkauloissa. Tätä varten he esittelevät uuden analyyttisen todennäköisyysmallin viiveiden ketjuuntumiselle. Malli minimoi ketjuuntuneiden viiveiden kokonaissumman. Mallin sovellukset osoittavat, että sitä voidaan käyttää aikataulusuunnittelun tukena.

WEEDA & WIGGENRAAD. CONFERENCE PROCEEDINGS 2006.

**JOINT DESIGN STANDARD FOR RUNNING TIMES, DWELL TIMES AND HEADWAY TIMES**

Weeda ja Wiggenraad (2006) määrittelevät liikennöintidatan avulla optimaaliset arvot ajoajoille, pysähtymisajoille ja vuoroväleille siten, että saavutetaan haluttu palvelutaso. Tämänkin artikkeli on esitelty laajemmin luvussa 7.3 Viiveiden ketjuuntuminen.

SCHÖBEL. CONFERENCE PROCEEDINGS 2007.

**INTEGER PROGRAMMING APPROACHES FOR SOLVING THE DELAY MANAGEMENT PROBLEM**

Schöbel (2007) on tutkinut viiveidenhallintaa tilanteessa, jossa tulee tehdä päätös siitä, odottaako jatkoyhteyslinja-auto myöhässä olevaa junaa vai lähtee se aikataulussaan. Hän lähestyy ongelmaa matemaattisesti, ottaen huomioon sekä kulkuneuvojen viiveet että jatkoyhteyden menettävien asiakkaiden määrän. Tavoitteena on minimoida järjestelmän kokonaisviiveet. Koska tarkastelun kohteena ovat matkaketjut junasta linja-autoon, artikkeli on esitelty luvussa 5.7 Matka- ja kuljetusketjut.

TAKAGI & GOODMAN & ROBERTS. CONFERENCE PROCEEDINGS 2004.

**OPTIMISING DEPARTURE TIMES AT A TRANSPORT INTERCHANGE TO IMPROVE CONNECTIONS WHEN SERVICES ARE DISRUPTED**

Myös Takagi et al. (2004) käsittelevät vaihtoyhteyksiä. Kun juna myöhästyy, on todennäköistä, että osa matkustajista myöhästyy jatkoyhteydestään. Ongelma voidaan ratkaista viivästyttämällä jatkoyhteysjunaa. Jos siellä kuitenkin on paljon matkustajia, voi muutaman vaihtoyhteysmatkustajan odottelu olla epäedullista. Niinpä artikkeli esittelee konseptuaalisen mallin, joka pyrkii automaattisesti optimoimaan jatkoyhteyksien lähtöajat siten, että matkustajien yhteenlaskettu kokonaisodotusaika minimoituu. Optimointiprosessia demonstroidaan muutamalla vaihtoyhteydellä, joita

simuloidaan väritettyjä Petrivierkoja hyödyntävillä matkustajavirtamalleilla. Myös tätä artikkelia on tarkastelu luvussa 5.7 Matka- ja kuljetusketjut.

ANDEREGG & PENNA & WIDMAYER. CONFERENCE PROCEEDINGS 2002.

#### **ONLINE TRAIN DISPOSITION: TO WAIT OR NOT TO WAIT?**

Viimeisenä esimerkkinä vaihtoyhteyksien viiveidenhallintaan liittyvästä tutkimuksesta on Andereggin et al. (2002) konferenssiartikkeli. Artikkelissa tarkastellaan tilannetta, jossa saapuvan junan viiveen suuruutta ei tiedetä, ja pitäisi tehdä päätös siitä, kannattaako jatkoyhteyskulkuneuvon odottaa vai ei.

### **8.6.2 Järjestelmän optimointia käsitteleviä muita julkaisuja**

CAPRARA & KROON & MONACI & PEETERS & TOTH. BOOK SECTION 2007.

#### **CHAPTER 3: PASSENGER RAILWAY OPTIMIZATION**

Caprara et al. (2007) käsittelevät kattavasti matkustajaliikenteen optimointia. Käsikirjan luku on kirjoitettu eurooppalaisesta näkökulmasta ja erityisesti matkustajaliikenteen osalta. Siinä käsitellään muun muassa aikataulusuunnittelua, linjastosuunnittelua sekä asemien ja ratapihojen suunnittelua. Luvussa kuvataan pääasiassa, millaisia matemaattisia optimointimahdollisuuksia on rautateiden matkustajaliikenteessä. Näin ollen julkaisu olisi voitu esitellä myös luvussa 6.2 Matemaattiset ja tilastolliset menetelmät. Täsmällisyys ei ole kirjassa pääosissa, mutta teos on silti kiinnostava, erityisesti, jos täsmällisyyttä tutkitaan edellä mainittujen teemojen yhteydessä.

RODRIGUEZ. CONFERENCE PROCEEDINGS 2008.

#### **AN INCREMENTAL DECISION ALGORITHM FOR RAILWAY TRAFFIC OPTIMISATION IN A COMPLEX STATION**

Rodriguez (2008) toteaa, että viiveet ketjuuntuvat herkästi erityisesti rautatieverkkojen vilkkaimmissa solmuissa, kuten pääasemilla. Yhden junan muutaman sekunnin myöhästyminen voi johtaa muiden junien useiden minuuttien viiveisiin. Tämän ilmiön hallitsemiseksi tarvitaan uusia menetelmiä ja malleja, joilla niukkojen resurssien käyttöä voidaan optimoida. Kirjoittaja näkee asian optimointiongelmana, jossa muuttujina toimivat junien vaihtoehtoiset reitit ja minimoitavana suureena viiveiden summa. Tämä ongelma on yhdistelmä aikataulutusta ja allokointia, ja sen todetaan olevan NP-vaikea, joten tarkan tuloksen määrittäminen on käytännössä mahdotonta. Ongelman ratkaisemiseksi artikkelissa vertaillaan kahta erilaista heuristista algoritmia.

DELORME & GANDIBLEUX & RODRIGUEZ. JOURNAL ARTICLE 2009.

#### **STABILITY EVALUATION OF A RAILWAY TIMETABLE AT STATION LEVEL**

Delormen et al. (2009) kuvaavat tutkimusta, jossa pyritään muodostamaan malli aikataulun optimoinnille ja arvioinnille. Artikkelia on käsitelty tarkemmin luvussa 9.3 Aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelu.



CHAKROBORTY & VIKRAM. JOURNAL ARTICLE 2008.

**OPTIMUM ASSIGNMENT OF TRAINS TO PLATFORMS UNDER PARTIAL SCHEDULE COMPLIANCE**

Chakroborty ja Vikram (2008) kehittävät matemaattista menetelmää, jolla vilkkaan aseman laitureiden allokointiongelmaan saadaan optimaalinen ratkaisu. Satunnaisista viiveistä johtuen laitureiden allokointisuunnitelmasta joudutaan usein poikkeamaan. Menetelmä tarjoaa kuhunkin tällaiseen tilanteeseen parhaan mahdollisen ratkaisun ottaen huomioon asiakkaille aiheutuvat haitat, jotka aiheutuvat viiveistä, toissijaisten laitureiden käytöstä ja viime hetken laiturimuutoksista. Menetelmän toimivuutta tarkastellaan useiden Intiaan sijoittuvien esimerkkitapausten avulla.

SCHMOCKER & COOPER & ADENEY. JOURNAL ARTICLE 2005.

**METRO SERVICE DELAY RECOVERY: COMPARISON OF STRATEGIES AND CONSTRAINTS ACROSS SYSTEMS**

Schmocker et al. (2005) tarkastelevat kuutta erilaista strategiaa metroliikennejärjestelmän optimaaliseen viiveidenhallintaan häiriön sattuessa. Tavoitteena on reunaehtoien vallitessa palauttaa normaalitilanne mahdollisimman nopeasti ja minimoida yhteenlasketut viiveet. Kustakin strategiasta esitellään niiden hyvät ja huonot puolet.

CONFERENCE PROCEEDINGS 2007.

**ALGORITHMIC METHODS FOR RAILWAY OPTIMIZATION**

Julkaisu (Anon. 2007) sisältää 17 eri konferenssiartikkelia, joissa aiheena on rautatieliikennejärjestelmän optimointi matemaattisin algoritmein. Osa artikkeleista käsittelee täsmällisyyttä, muun muassa täsmällisyyden hyötyjä ja viiveidenhallintaa.

HANSEN. CONFERENCE PROCEEDINGS 2006.

**STATE-OF-THE-ART OF RAILWAY OPERATIONS RESEARCH**

Hansen (2006) tarkastelee tutkimuksen tilaa liittyen stokastisten junaoperaatioiden mallintamiseen, joissa tarkoituksena on optimoida kapasiteetin käyttöä analyyttisten menetelmien ja mikrosimulaation kautta. Artikkelia on käsitelty tarkemmin luvussa 9.3 Aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelu.

SAKOWITZ & WENDLER. CONFERENCE PROCEEDINGS 2006.

**OPTIMISING TRAIN PRIORITIES TO SUPPORT THE REGULATION OF TRAIN SERVICES WITH THE ASSISTANCE OF ACTIVE AND DEDUCTIVE DATABASES**

Sakowitz ja Wendler (2006) esittelevät menetelmän, jossa liikenteenohjaus perustuu juna- ja yhteyskohtaisesti määritettäviin viiveiden taloudellisiin arvoihin ja näiden kautta tehtävään optimointiin. Artikkelia on käsitelty laajemmin luvussa 7.6 Ajan arvottaminen.

### **8.6.3 Yhteenveto ja johtopäätökset**

Kun tavoitteena on järjestelmän optimointi, liittyy tutkimus käytännössä aina aikataulu- ja kapasiteettisuunnitteluun tai liikenteenohjaukseen. Aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelussa optimointitehtävät ovat pääasiassa sellaisia, joissa pyritään järjestelmän tai sen osan kapasiteetin mahdollisimman tehokkaaseen käyttöön halutulla täsmällisyystasolla.

Toisin sanoen etsitään kompromissia määrän ja laadun välillä. Tällaisten tutkimusten tuloksena syntyy esimerkiksi suosituksia optimaalisesta pelivarasta ja rataosuuksien allokointitavoista.

Liikenteenohjauksen tukena optimointia käytetään pääasiassa tilanteissa, joissa pyritään toipumaan häiriötilanteista siten, että niiden negatiiviset vaikutukset minimoituvat. Yksi paljon tutkittu ongelma on tilanne, jossa pitäisi päättää, odottaako jatkoyhteys myöhässä olevaa junaa.

Rautatieliikennejärjestelmä on herkullinen kohde erilaisten matemaattisten optimointimenetelmien hyödyntämiselle. Järjestelmä tarjoaa paljon erilaisia reunaehtoja ja optimoitavia asioita. Tämä näkyy myös tässä teemassa: liikennejärjestelmän optimointi erilaissa tilanteissa on tavoitteena useissa tutkimuksissa. On kuitenkin huomattava, että järjestelmä on kompleksinen, ja niinpä optimointitehtäviä muodostettaessa on jouduttu tekemään paljon rajauksia ja yksinkertaistuksia. Näin ollen useimmat tutkimukset tarjoavat ratkaisun vain johonkin yksittäiseen ongelmaan.

Useimmat teeman tutkimukset tarkastelivat puhtaasti itse rautatieliikennejärjestelmää. Näin esimerkiksi matkustaja- tai talousnäkökulma ei juuri noussut esille. Järjestelmän optimointia voisikin laajentaa näihin suuntiin. Tällöin tutkimusongelmana voisi esimerkiksi olla, mikä on optimaalinen kompromissi täsmällisyyttä parantavien investointien ja niiden myötä kasvaneen asiakastytyväisyyden välillä.



## 9 TÄSMÄLLISYYSTUTKIMUKSEN AVULLA KEHITETTÄVÄT JÄRJESTELMÄT

### 9.1 Kehitettävä järjestelmä -teemaryhmän tutkimus

Edellisessä luvussa luokiteltiin täsmällisyystutkimuksia niiden yleisen tason kehitystavoitteen mukaan. Tässä luvussa puolestaan tarkastellaan tutkimuksia, joissa erityisenä mielenkiinnon kohteena on jonkin täsmällisyyteen liittyvän konkreettisen järjestelmän tai työkalun kehittäminen. Tällainen järjestelmä on usein tietokonepohjainen ja voi liittyä esimerkiksi liikenteenohjaukseen tai matkustajaviestintään. Näkökulmansa myötä tarkasteltujen tutkimusten tavoitteet ovat yleensä melko pragmaattisia. Tutkimusasetelman elementit ja käytetyt menetelmät toki voivat olla tieteellisiä.

Luku on jaettu viiteen alalukuun siten, että ensimmäisissä luvuissa käsitelty työkalut palvelevat strategisia tavoitteita, viimeisissä puolestaan operatiivisia tehtäviä. Aluksi luvussa 9.2 *Päätöksenteon tukijärjestelmät* tarkastellaan järjestelmiä, jotka palvelevat organisaation johdon päätöksentekoa. Tällaiset työkalut pyrkivät vastaamaan strategisen tason kysymyksiin, kuten mitä reittejä kannattaa liikennöidä. Luvussa 9.3 *Aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelu* kehityskohteena ovat työkalut, joilla pyritään infrastruktuurin mahdollisimman tehokkaaseen käyttöön etukäteen laadittavin suunnitelmin, kuten aikatauluihin.

Luvussa 9.4 *Liikenteenohjaus* kehityskohteena ovat nimensä mukaisesti operatiiviset liikenteenohjausjärjestelmät. Luvussa 9.5 *Reaaliaikaiset järjestelmät* on tarkasteltu työkaluja, joissa reaaliaikaisuus on keskeisenä tekijänä. Näitä voivat olla esimerkiksi kuljettajan on board -järjestelmät. Monet luvussa käsitellyt artikkelit sopivat teemansa puolesta myös kahteen aikaisempaan lukuun. Lopuksi luvussa 9.6 *Informaatiojärjestelmät* tutkitaan erilaisia asiakasrajapinnan järjestelmiä, joita käytetään täsmällisyyteen liittyvään viestintään.

### 9.2 Päätöksenteon tukijärjestelmät

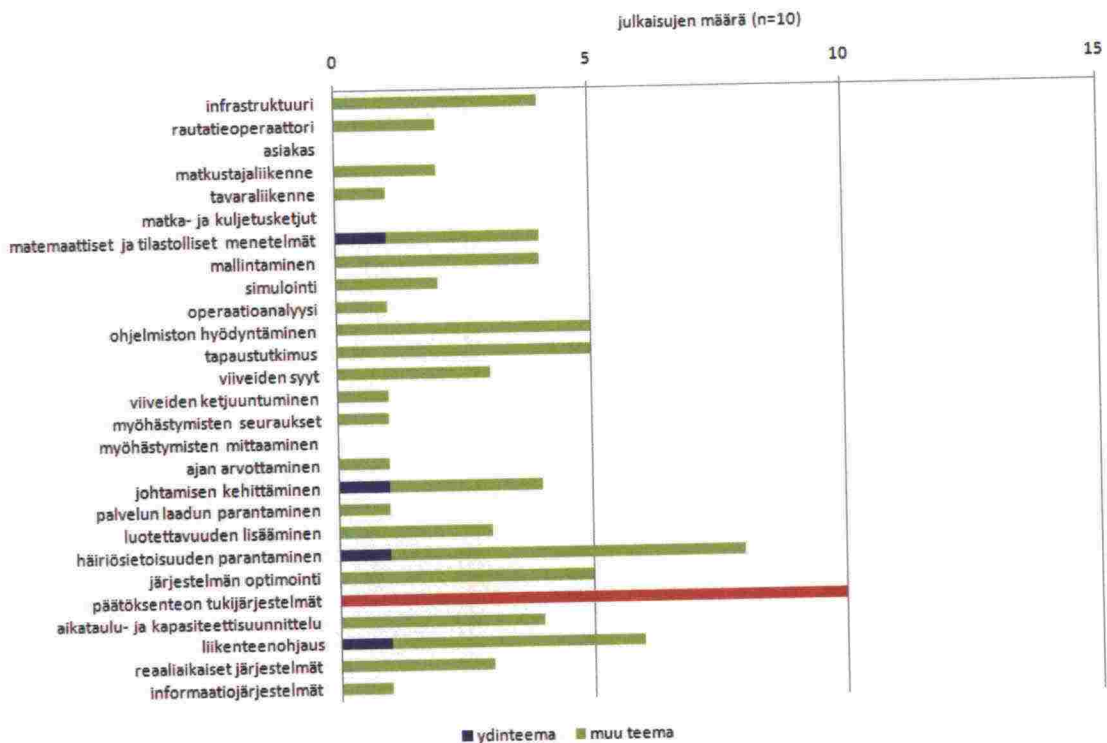
Tässä luvussa tarkastellaan tutkimuksia, joissa pyritään kehittämään erilaisia työkaluja ja järjestelmiä, jotka tukevat keskijohdon (DSS, decision support systems) ja ylimmän johdon (ESS, executive support systems) päätöksentekoa. DSS- ja ESS-järjestelmät ovat interaktiivisia tietokonepohjaisia apuvälineitä, jotka tukevat päätöksen tekoa taktisen ja strategisen tason ongelmissa, joille on tyypillistä kompleksisuus ja jäsentymättömyys. Operatiivisista järjestelmistä poiketen ne eivät tue meneillään olevaa prosessia.

Keskijohdolle suunnatut DSS-järjestelmät ovat raportointi- ja suunnitteluorientoituneita ja pyrkivät avustamaan lyhyemmän aikavälin suunnittelussa. Niillä pyritään analysoimaan trendejä ja viimeisintä tietoa, pyrkien muodostamaan mahdollisimman hyviä ennustuksia ja arvioita. Tästä syystä järjestelmät tukeutuvat useampiin malleihin. DSS-järjestelmät saavat lähtötietonsa operatiivisten järjestelmien lisäksi myös organisaation ulkopuolelta, esimerkiksi erilaisista tietopankeista. Ylimmälle johdolle tarkoitettut ESS-järjestelmät puolestaan tukevat yrityksen ylintä johtoa strategisessa suunnittelussa ja päätöksenteossa.

Päätöksille on tyypillistä suuri jäsentymätön tietomäärä, jonka lähteenä toimivat DSS-järjestelmien lisäksi kaikki organisaation sidosryhmät. Järjestelmät ovat tulevaisuus-orientoituneita, niitä hyödynnetään pitkän tähtäimen suunnittelussa. Tässä luvussa ei vedetä tarkkaa rajaa näiden kahden järjestelmätyypin välille, vaan niitä käsitellään yhdessä.

Lähes kaikkia ohjelmistoja, kuten simulointiohjelmistoja, voitaisiin pitää päätöksenteon tukijärjestelminä, sillä niiden antamia tuloksia hyödynnetään järjestelmää kehitettäessä. Tässä yhteydessä käsitellään kuitenkin vain sellaisia työkaluja ja järjestelmiä, jotka täyttävät edellä mainitut kriteerit ja jotka ovat erityisesti suunniteltu tukemaan päätöksentekoprosessia.

Teemaan sopivia julkaisuja löytyi vain vähän. Kuvassa 9.1 on esitelty ne 10 julkaisua, joissa pääteemana oli jokin päätöksenteon tukijärjestelmä.



Kuva 9.1 Ydinteeman PÄÄTÖKSENTEON TUKIJÄRJESTELMÄT kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat.

Kuvasta 9.1 on vaikea päätellä mitään varmaa sen pienen otoksen vuoksi. Näyttäisi kuitenkin siltä, että päätöksenteon tukijärjestelmiä on kehitetty ennen kaikkea häiriösietoisuuden parantamiseksi ja liikenteenohjauksen tueksi.

Raportin liitteenä on luettelo päätöksenteon tukijärjestelmät -teemaa käsittelevistä julkaisuista. Mukana on 47 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus).



### 9.2.1 *Päätöksenteon tukijärjestelmiä ja täsmällisyyttä käsitteleviä julkaisuja*

VUKADINOVIC & TEODOROVIC & PAVKOVIC & ROSIC. JOURNAL ARTICLE 1996.  
**A NEURAL NETWORK APPROACH TO MITIGATION OF VEHICLE SCHEDULE  
 DISTURBANCES**

Vukadinovic et al. (1996) ovat tutkineet, kuinka kulkuneuvojen liikennöintihäiriöiden haittoja voidaan lieventää neuroverkkoja hyödyntämällä. Artikkelin mukaan inhimillistä päätöksentekoa tarvitaan aina, kun suunnitellut aikataulut muuttuvat esimerkiksi viiveiden, hajoamisten tai kysyntäpiikkien vuoksi. Tällöin liikenteenohjaajien tulee nopeasti tehdä päätöksiä, joiden tavoitteena on häiriöiden kielteisten vaikutusten lieventäminen. Artikkelissa esitellään liikenteenohjausta tukevan päätöksenteon tukityökalun, jonka tarkoituksena on pienentää liikenteenohjaajien työkuormaa ja parantaa tehtyjen päätösten laatua. Työkalu hyödyntää neuroverkkoja, joilla on kyky oppia ja mukautua syötettyjen esimerkkipäätösten avulla. Opetuksen jälkeen ne kykenevät simuloimaan liikenteenohjaajan päätöksentekoprosessia ja kykenevät siten tekemään liikenteenohjaukseen liittyviä päätöksiä, jotka minimoivat viiveistä aiheutuneet haitat koko järjestelmälle. Neuroverkot ovat yksi tiedonlouhintamenetelmä, joten artikkelia on käsitelty myös luvussa 6.2 Matemaattiset ja tilastolliset menetelmät.

PETERS & EMIG & JUNG & SCHMIDT. CONFERENCE PROCEEDINGS 2005.  
**PREDICTION OF DELAYS IN PUBLIC TRANSPORTATION USING NEURAL NETWORKS**

Myös Peters et al. (2005) hyödyntävät tutkimuksessaan neuroverkkoja. Artikkelissa tutkitaan prosessia, jossa viiveen tiedot syötetään neuroverkkoon, joka pyrkii ennustamaan siitä aiheutuvaa viiveiden ketjuuntumista. Myös tätä artikkelia on tarkasteltu tarkemmin luvussa 6.2 Matemaattiset ja tilastolliset menetelmät.

RICCI & TIERI. CONFERENCE PROCEEDINGS 2008.  
**A PETRI NETS BASED DECISION SUPPORT TOOL FOR RAILWAY TRAFFIC CONFLICTS  
 FORECASTING AND RESOLUTION**

Ricci ja Tieri (2008) kuvaavat kompleksisten rautatiejärjestelmien simulointiin keskittyneen tutkimusprojektin tuloksia ja sovelluksia. Projektissa on kehitetty Petriverkkoihin perustuva päätöksentekoa tukeva ohjelmistotyökalu. Sitä voidaan käyttää sekä liikennekonfliktien säännölliseen ennustamiseen että niiden ratkaisemiseen. Näin käyttäjinä ovat sekä keskijohto että operatiiviset työntekijät. Työkalua on testattu laajasti italialaisella rataosuudella vertaamalla simulointituloksia todellisiin viiveisiin.

CHENG & YANG. JOURNAL ARTICLE 2009.  
**A FUZZY PETRI NETS APPROACH FOR RAILWAY TRAFFIC CONTROL IN CASE OF  
 ABNORMALITY: EVIDENCE FROM TAIWAN RAILWAY SYSTEM**

Cheng ja Yang (2009) pyrkivät tutkimuksessaan mallintamaan liikenteenohjaajien hyväksi koettuja, häiriötilanteisiin liittyviä toimintatapoja päätöksenteon tukityökaluksi, joka hyödyntää sumean logiikan Petriverkkoja. Erilaiset häiriötilanteet ja niiden ratkaisumallit kartoitetaan haastatteluiden ja kirjallisuuskatsauksen avulla. Casekohteena on taiwanilainen rataosuus.

FAY. JOURNAL ARTICLE 2000.

**A FUZZY KNOWLEDGE-BASED SYSTEM FOR RAILWAY TRAFFIC CONTROL**

Lähes vastaavasti myös Fay (2000) esittelee Petriverkkoja ja sumeaa logiikkaa yhdistävän järjestelmänsä, joka tukee liikenteenohjauksen päätöksentekoa. Tavoitteena on täyttää modernin rautatiejärjestelmän luotettavuusvaatimukset. Artikkelia on käsitelty tarkemmin luvussa 9.4 Liikenteenohjaus.

MAKKINGA & METSELAAR. CONFERENCE PROCEEDINGS 1998.

**AUTOMATIC CONFLICT DETECTION AND ADVANCED DECISION SUPPORT FOR OPTIMAL USAGE OF RAILWAY INFRASTRUCTURE: PROTOTYPING AND TEST RESULTS**

Makkinga ja Metselaar (1998) esittelevät prototyypin työkalulle, jolla pyritään tukemaan infrastruktuurin optimaaliseen käyttöön pyrkivää päätöksentekoa. Työkalu tunnistaa esimerkiksi viiveistä aiheutuvat konfliktit jo ennen niiden tapahtumista ja luo sen perusteella uuden liikennöintisuunnitelman, joka minimoi häiriön vaikutukset. Näin junaliikenteen luotettavuus ja täsmällisyys paranevat huomattavasti.

GOVERDE & DAAMEN & HANSEN. CONFERENCE PROCEEDINGS 2008.

**AUTOMATIC IDENTIFICATION OF ROUTE CONFLICT OCCURRENCES AND THEIR CONSEQUENCES**

Goverde et al. (2008) käsittelevät *TNV-Conflict*-työkalua, joka tunnistaa automaattisesti kaikki reittikonfliktit kriittisine rataosuuksineen ja mukana olleine junineen siten, että tiedot ovat myöhemmin analysoitavissa. Työkalu tarjoaa oleellista tukea päätöksille, jotka liittyvät kapasiteetin käytön kehittämiseen ja luotettavien junavuorojen muodostamiseen. Artikkelia on käsitelty tarkemmin luvussa 7.2 Viiveiden syyt.

SANZ BOBI & LÓPEZ & DE PEDRO & NÚÑEZ & PE. CONFERENCE PROCEEDINGS 2008.

**ADVANCED TOOL FOR RAILWAY PLANNING AND TRAFFIC CONTROL DECISION MAKING**

Sanz Bobi et al. (2008) esittelevät ratahallinnolle suunnatun työkalun, jota voidaan käyttää aikataulusuunnitteluun ja liikenteenohjaukseen liittyvien päätöksentekoprosessien tukena. Työkalu keskittyy järjestelmän kriittisimpiin kohtiin pyrkien minimoimaan viiveet.

TOMII & TASHIRO & TANABE & HIRAI & MURAKI. JOURNAL ARTICLE 2005.

**TRAIN RESCHEDULING ALGORITHM WHICH MINIMIZES PASSENGERS' DISSATISFACTION**

Tomii et al. (2005) tarkastelevat algoritmia, jonka avulla voidaan häiriön sattuessa aikatauluttaa junaliikenne uudelleen siten, että matkustajille aiheutuva haitta muodostuu mahdollisimman pieneksi. Artikkelia käsitellään tarkemmin luvussa 6.2 Matemaattiset ja tilastolliset menetelmät.



D'ARIANO. DISSERTATION 2008.

**IMPROVING REAL-TIME TRAIN DISPATCHING: MODELS, ALGORITHMS AND APPLICATIONS**

D'Ariano (2008) suunnittelee, kehittää ja arvioi väitöskirjassaan työkalua, joka tukee liikenteenohjaajia päivittäisissä liikennehäiriöihin liittyvissä päätöksissä. Tätä ja tekijän muita julkaisuja on tarkasteltu tarkemmin luvussa 9.5 Reaaliaikaiset järjestelmät.

BLUVBAND & BAREL & ZULE. CONFERENCE PROCEEDINGS 1997.

**IQLM: APPLICATION FOR RAIL SYSTEMS**

Järjestelmän kustannustehokkuus tarkoittaa sen suorituskkyä verrattuna kustannuksiin. Näin ollen parhaiten suoriutuva ja laadukkaita rautatiejärjestelmä ei välttämättä ole kustannustehokkain. Bluvband et al. (1997) esittelevät IQLM-metodologian (*The integrated quality and logistics management methodology*), jolla voidaan tarkastella järjestelmän kustannustehokkuutta päätöksenteon tueksi. Metodologia tuo myös esille sen, että mikäli päätöksiin liittyy epävarmuutta, on niiden osalta tehtävä perusteellinen herkkyyshanalyysi, jotta saavutetaan luotettavia tuloksia.

KAWAKAMI. CONFERENCE PROCEEDINGS 1997.

**FUTURE FRAMEWORK FOR MAGLEV TRAIN TRAFFIC CONTROL SYSTEM UTILIZING AUTONOMOUS DECENTRALIZED ARCHITECTURE**

Kawakami (1997) esittelee japanilaisen maglev-junan liikenteenohjausjärjestelmän ohjelmistoarkkitehtuurin. Järjestelmän avulla liikenne toipuu nopeasti häiriöistä ja täsmällisyys maksimoituu.

## 9.2.2 Yhteenveto ja johtopäätökset

Kirjallisuuskatsaukseen ei valikoitunut mukaan yhtään sellaista artikkelia, joka olisi käsitellyt puhtaasti täsmällisyyttä ja siihen jollakin tavalla liittyvää päätöksenteon tukijärjestelmää. Käytännössä kaikki teemassa esille nousseet sovellukset tukivat liikenteenohjausta tai aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelua. Useimmissa julkaisuissa tutkittiin menetelmiä, kuinka häiriöitä ja niiden vaikutuksia pystyttäisiin analysoimaan ja ennustamaan, ja siten tekemään päätöksiä, joilla voitaisiin minimoida kielteiset seuraukset. Täten sovellusten käyttötarkoitus oli tukea lähinnä operatiivista tai korkeintaan taktista toimintaa. Näin ollen suurin osa niistä ei varsinaisesti edes ole päätöksenteon tukijärjestelmä. Mukana oli vain joitakin DSS-järjestelmäksi luokiteltavia sovelluksia, ei yhtään ESS-järjestelmää.

Rautatieliikennejärjestelmä on hyvin kompleksinen, jolloin myös sen kehittämiseen liittyvät päätökset ovat hyvin monitahoisia. Tällöin erilaisista ESS- ja DSS-järjestelmistä voisi olla huomattavasti apua. Tästä näkökulmasta katsoen katsauksessa nousi esille hyvin vähän päätöksenteon tukijärjestelmiä. Näyttää siltä, että niiden soveltuvuutta ja mahdollisuuksia – ainakin täsmällisyyden kehittämiseen liittyvissä päätöksissä – tulisi tutkia aiempaa laajemmin. Erityisesti ylemmälle johdolle suunnatut strategisen tason päätöksenteon tukityökalut vaatisivat enemmän huomiota. Sopivilla ohjelmistoilla voitaisiin esimerkiksi tunnistaa koko järjestelmän täsmällisyyden kannalta kriittisiä junavuoroja ja siten tärkeimpiä kehityskohteita.

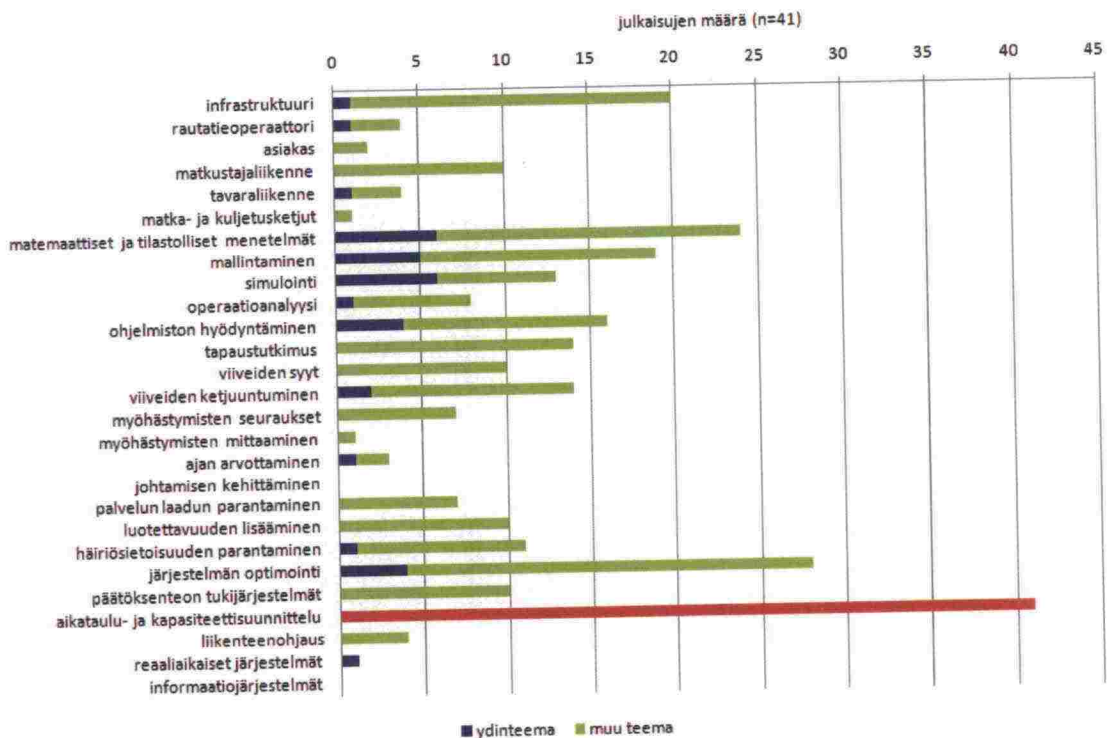
### 9.3 Aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelu

Tässä luvussa tarkastellaan tutkimuksia, joissa kehitetään erilaisia työkaluja ja järjestelmiä, joilla pyritään infrastruktuurin mahdollisimman tehokkaaseen käyttöön etukäteen laadittavin suunnitelmin, kuten aikatauluin. Aikataulusuunnitteluna on tässä kirjallisuuskatsauksessa tarkasteltu ennen operatiivista toimintaa tapahtuvaa suunnittelua.

Aikataulusuunnittelun avulla voidaan vaikuttaa liikennöinnin luotettavuuteen ja täsmällisyyteen, esimerkiksi lisäämällä ajoaikoihin pelivaraa. Tämä kuitenkin pidentää ajoaikoja ja varaa ratakapasiteettiä turhaan. Aikataulusuunnittelu onkin optimointia näiden kahden välillä. Täsmällisyyttä voidaan myös ennakoida aikataulusuunnittelua varten. Keskimääräiset viiveet ja todennäköinen täsmällisyys voidaan ottaa huomioon jo aikataulusuunnittelussa.

Kapasiteettisuunnittelu puolestaan on radan välityskyvyn suunnittelua. Tämä osuus on tässä luvussa vähäisemmällä huomiolla johtuen kirjallisuuskatsauksen rajauksesta ja löydetystä kirjallisuudesta.

Aikataulu ja kapasiteettisuunnittelun näkökulmasta täsmällisyyttä tarkastelevia julkaisuja on kirjallisuuskatsauksessa mukana yhteensä 161, mikä tarkoittaa, että lähes puolet kaikista julkaisuista tarkasteli tätä teemaa jossain määrin. Päänäkökulmana aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelu oli 41 julkaisussa ja näiden perusteella on piirretty kuva 9.2. Siinä on esitetty ne teemat, joita esiintyy samoissa julkaisuissa kuin aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelua.



Kuva 9.2 Ydinteeman AIKATAULU- JA KAPASITEETTISUUNNITTELU kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat.



Kuvasta 9.2 nähdään, että aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelun näkökulmasta tarkasteltaessa myös matemaattiset ja tilastolliset menetelmät ovat yleisiä, samoin muiden menetelmien osuus on vahva. Kuvassa näkyy myös selvä yhteys järjestelmän optimointiin.

Raportin liitteenä on luettelo aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelu -teemaa käsittelevistä julkaisuista. Mukana on 90 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus).

### 9.3.1 Aikataulun vakauden arviointi asemilla

DELORME & GANDIBLEUX & RODRIGUEZ. JOURNAL ARTICLE 2009.

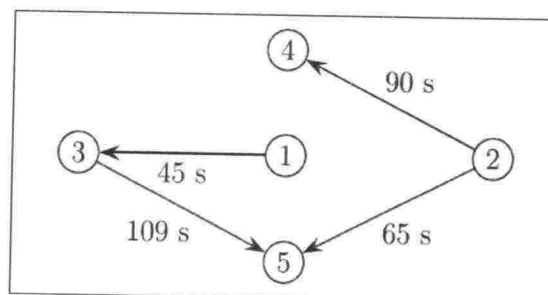
#### STABILITY EVALUATION OF A RAILWAY TIMETABLE AT STATION LEVEL

Delorme et al. (2009) kuvaavat tutkimusta, jossa pyritään löytämään aikataulun optimointimalli, samoin kuin aikataulun arviointimoduuli. Artikkelissa esitellään moduuli, jonka avulla aikataulun vakautta voidaan arvioida. Aikataulun vakauden arvioinnissa käytetään viiveiden ketjuuntumistietoa. Tarkastelussa on keskitytty asemiin ja muihin solmupisteisiin.

Aikataulun vakauden arvioinnin kirjoittajat kuvaavat jakautuvan kolmeen tyyppiin:

- aikaan, joka menee viiveistä elpymiseen
- suoja-aikoihin, joka junien väliin tulee jättää, ennen kuin viivästynyt juna aiheuttaa seuraavan junan viivästymisen
- viiveiden ketjuuntumistietoihin erilaisten primääri viiveiden tapauksissa.

Artikkelissa kuvataan alkuperäinen menetelmä aikataulun vakauden arviointiin. Menetelmä pohjautuu liikenteenohjaajien tietotaitoon ja kokemukseen ja hyödyntää viiveiden ketjuuntumista kuvaavaa mallia. Tavoitteena on määrittää kokonaisviiveet, jotka syntyvät yksittäisten junien primäärisistä viiveistä sekä niiden suorat ja epäsuorat vaikutukset muihin aikataulun juniin. Vakausmalli perustuu sekundääristen viiveiden laskemiseen aikataulumallissa, jossa primääriset viiveet voivat ketjuuntua. Sekundääriset viiveet voidaan laskea graafista, joka riippuu ainoastaan aikataulusta. Kaikki arviot pohjautuvat primäärisiin viiveisiin. Delorme et al. kuvaavat esimerkin 180 sekunnin primäärisen viiveen ketjuuntumisesta kuvan 9.3 mukaisesti.



Kuva 9.3 Primäärisen viiveen ketjuuntuminen Delorme et al. (2009) mukaan.

Kirjoittajat toteavat menetelmän olevan ensimmäinen useita näkökulmia huomioon ottava, rautatieliikenteen aikataulun vakauden arviointiin tarkoitettu malli. Tulokset osoittavat olevan tärkeää, että tällainen malli pystyy ottamaan huomioon useita primäärisiä viiveitä. Tätä kautta aikataulun vakauden arviointi voi helpottaa erilaisten aikataulurakenteiden välillä tehtävää valintaa sekä helpottaa päätöksentekijöitä tunnistamaan kriittiset junat sekä junat jotka estävät normaalin liikennöinnin.

Artikkelissa on viittauksia useisiin tähän kirjallisuuskatsaukseen sisältyviin julkaisuihin. Lisäksi on viitattu muun muassa seuraavaan julkaisuun:

- Engelhardt-Funke, O. & Kolonko, M. 2004. Analysing stability and investments in railway networks using advanced evolutionary algorithms. *International Transactions in Operational Research*, 11, p. 381–394.

### **9.3.2 Arvio automaattisen junien uudelleenaikataulutuksen täsmällisyshyödyistä**

GOUWELOOS & BARTHOLOMEUS. CONFERENCE PROCEEDINGS 2007.

#### **AN ESTIMATE OF THE PUNCTUALITY BENEFITS OF AUTOMATIC OPERATIONAL TRAIN SEQUENCING**

Gouweloos ja Bartholomeus (2007) arvioivat uudelleenaikataulutuksen vaikutuksia täsmällisyyteen. Asiaa on tarkasteltu Alankomaiden rataverkolla ja erityisesti liikenteenohjauksen tasolta. Julkaisussa todetaan, että liikenteenohjaajilla on usein käytettävissä puutteelliset tiedot muun muassa viiveiden kestosta ja tästä johtuen tällä tasolla tehtävät päätökset häiriötilanteiden liikennöintijärjestyksestä ovat haasteellisia ja niiden vaikutukset kokonaistäsmällisyyteen yllättävän suuria. Virheellinen tieto junan kulusta (viiveestä) voi vaikuttaa merkittävästi täsmällisyyteen, jos sen perusteella tehdään muutoksia aikataulutuksessa.

Kirjoittajat toteavat, että pieniä ja suurempiakin liikenteen uudelleenaikataulutuspäätöksiä tehdään Alankomaiden rataverkolla päivittäin. Näiden päätösten vaikutuksista luotettavuuteen ja kokonaistäsmällisyyteen on kuitenkin vähän tietoa. Liikenteenohjauksesta vastaavat yksittäiset ihmiset, ja he ovat harvoin kykeneviä tekemään nopeita, yhteensopivia ja tarkkoja liikennöintisääntöihin perustuvia ratkaisuja, kuten tietokoneet. Artikkelissa on laskettu liikenteenohjauksen päätösten konkreettisia vaikutuksia kokonaistäsmällisyyteen. Laskennassa on otettu huomioon viiveiden heikkeneminen, säilyminen ja heijastuminen junan edetessä.

Tutkimuksen tuloksena saatiin arvio liikenteenohjauksen tekemän uudelleenaikataulutuksen vaikutuksista kokonaistäsmällisyyteen. Tuloksien suuruus yllätti tutkijat. Vaikka tuloksiin liittyy epävarmuutta, ne osoittivat, että liikenteenohjaajien puutteelliseen viivetietoon perustuvat ratkaisut vaikuttavat kokonaistäsmällisyyteen merkittävästi, arviolta 4 prosenttia.

### **9.3.3 Aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelua käsitteleviä muita julkaisuja**

HANSEN. CONFERENCE PROCEEDINGS 2006.

#### **STATE-OF-THE-ART OF RAILWAY OPERATIONS RESEARCH**

Hansen (2006) käsittelee tutkimuksen tilaa liittyen stokastisten junaoperaatioiden mallintamiseen, joissa tarkoituksena on optimoida kapasiteetin käyttöä analyttisten



menetelmien ja mikrosimulaation kautta. Aikataulun laatu määräytyy tarkkojen ajoaikojen ja aikataulun palautumiseen kuluneen ajan sekä optimaalisten vuorovälien ja pelivarojen avulla.

Hansen esittelee, millaisia menetelmiä voidaan käyttää niin odotusajan määrittämiseen, aikatauluoptymointiin kuin toimintojen laadun arviointiin. Hän esittää kehitetyn mallin, jolla voidaan arvioida viiveiden heijastumista asemilla ja solmupisteissä.

Aikatauluun lisättävän pelivaran määrän Hansen kuvaa perustuvan usein nyrkki-sääntöihin, jotka joskus tarkastetaan simuloinnilla. Pelivaraa harvoin suunnitellaan todelliseen operointidataan perustuen.

HANSEN. CONFERENCE PROCEEDINGS 2000.

#### **STATION CAPACITY AND STABILITY OF TRAIN OPERATIONS**

Hansen (2000) tarkastelee tässä artikkelissaan jonoteorioiden ja max-plus-algebran hyödyntämistä asemakapasiteetin määrittämisessä.

Hansenin mukaan asemien kapasiteetin määrittelee raiteiden, laitureiden, risteysten, opastinten, kaluston ja aikataulun muodostama kokonaisuus. Suunnittelutarkoituksia varten oletettu radan käyttö voidaan määrittää deterministisin menetelmin, kun tiedetään junien reitit, nopeudet, liikennöintiajat, pysähtymisajat ja vuorovälit. Satunnaisiin poikkeamiin saapumis- ja lähtöajoissa varaudutaan Hansenin mukaan yleensä pelivaralla. Häiriön sattuessa junien odotusaikoja voidaan puolestaan arvioida jonoteorioiden ja max plus -algebran avulla.

Artikkelissaan Hansen kuvailee analyttisiä menetelmiä sekä tarkastelee niiden heikkouksia. Hollantilaiselta Den Haag HS -asemalta kerätyn datan avulla hän osoittaa, etteivät nämä menetelmät vastaa tarkoitukseen, minkä vuoksi tarvetta olisi yksityiskohtaiselle liikennöintidatan analysoinnille ja simulointiohjelmistojen käytölle.

BANDARA & EKANAYAKE. JOURNAL ARTICLE 2003.

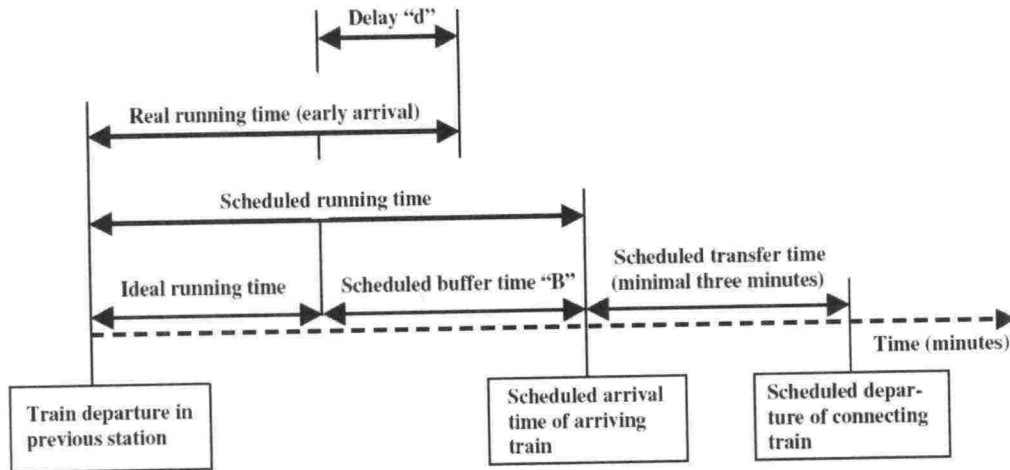
#### **TRAIN SCHEDULING SIMULATION THAT MINIMISES OPERATIONAL CONFLICTS DUE TO SERVICE CONSTRAINTS**

Bandara ja Ekanayake (2003) esittelevät tutkimusta, jossa yritetään helpottaa aikataulutusta häiriötilanteissa tavoitteena viiveiden minimointi. Artikkelissa kuvataan yksiraiteisella radalla kulkevien junien aikataulujen optimointiin suunniteltu simulointimalli. Tämä malli mahdollistaa aikataulujen suunnittelun ja optimoinnin niin, että junat voivat kulkea lyhyillä aikaväleillä sekä yksi että kaksiraiteisella verkolla. Artikkelissa esitellään myös erilaisia vaihtoehtoja esittää simuloinnin tulos sekä artikkelin lopuksi tapaustutkimus yksiraiteiselta rataosuudelta.

VANSTEENWEGEN & VAN OUDHEUSDEN. JOURNAL ARTICLE 2006.

#### **DEVELOPING RAILWAY TIMETABLES WHICH GUARANTEE A BETTER SERVICE**

Vansteenwegen ja Van Oudheusden (2006) käsittelevät odotusajan kustannuksia ja aikataulusuunnittelua tavoitteenaan palvelun parempi laatu. Matka-ajan he kuvaavat rakentuvan kuvan 9.4 mukaisesti.



Kuva 9.4 Matka-ajan eri osat Vansteenwegenin ja Van Oudheusdenin (2006) mukaan.

Kuvan perusteella havaitaan muun muassa, että termillä viive (*delay*) kirjoittajat kuvaavat eroa ideaalin ja todellisen matka-ajan välillä. Viive on siis otettu huomioon aikataulunmukaisessa matka-ajassa.

Kirjoittajat esittelevät ideaalin matka-ajan käsitteen. Tällä he tarkoittavat vakioaikaa, joka junalla kuluu kahden aseman välillä. Ideaali matka-aika edellyttää ideaaleja olosuhteita. Aikataulu puolestaan on luotettava silloin, kun se toimii hyvin myös ei-ideaaleissa olosuhteissa. Artikkelin mukaan simulointia voidaan käyttää hyvänä työkaluna aikataulusuunnittelussa ja simuloimalla voidaan myös arvioida aikataulumuutosten vaikutuksia.

VANSTEENWEGEN & VAN OUDHEUSDEN. JOURNAL ARTICLE 2007.

#### DECREASING THE PASSENGER WAITING TIME FOR AN INTERCITY RAIL NETWORK

Artikkeli (Vansteenwegen & Van Oudheusden 2007) perustuu suurelta osin tekijöiden aiempaan tutkimukseen (Vansteenwegen & Van Oudheusden 2006) syventäen ja laajentaen sitä. Uudet, koko Belgian rataverkon kattavat tutkimustulokset osoittavat, että lineaarisen optimoinnin avulla voidaan vaihdot aikatauluttaa entistä paremmin ja vähentää odotusajan arvoa jopa 40 %. Uudet tulokset siis vahvistavat aiempia ja Vansteenwegen ja Van Oudheusden (2007) toteavatkin, että ehdotetun mallintamismenetelmän avulla voidaan tuottaa tasapainoisia ja realistisia aikatauluja, joiden avulla voidaan taata parempaa palvelua.

Artikkelissa käsitellään aikataulusuunnittelua ja aikatauluissa tarvittavia pelivaroja. Näkökulma on odotusajan tarkastelussa ja odotusajasta aiheutuvien kustannusten minimoinnissa. Asiaa tarkastellaan erityisesti matkustajaliikenteen näkökulmasta. Matkustajat on jaettu neljään ryhmään mahdollisen odotusajan muodostumistavan perusteella.

Artikkelissa viitataan muun muassa seuraaviin julkaisuihin:

- Wardman, Mark. 2004. Public transport values of time. *Transport Policy*, Vol. 11, Issue 4, p. 363–377.
- Higgins, A. & Kozan, E. 1998. Modeling train delays in urban networks. *Transportation Science*, Vol. 32, Issue 4, p. 346–357. (Higgins & Kozan 1998)



VROMANS & DEKKER & KROON. JOURNAL ARTICLE 2006.

**RELIABILITY AND HETEROGENEITY OF RAILWAY SERVICES**

Vromans et al. (2006) tarkastelevat junaliikenteen heterogeenisuutta ja sen homogenisoinnin vaikutuksia luotettavuuteen, täsmällisyyteen ja viiveiden ketjuuntumiseen. Artikkelit esittelee kaksi mittaria, joiden avulla aikataulun homogeenisuutta voidaan arvioida ja parantaa luotettavuutta.

Mittareiden toimivuus on testattu sekä teoreettisen että käytännön tapaustutkimuksen avulla, osin käyttäen apuna simulointia.

Kun aikataulusuunnittelun kautta tavoitteena on vähentää heijastuvia myöhästymisiä, kirjoittajat keskittyvät pieniin primäärisiin myöhästymisiin, sillä he toteavat, ettei ole järkevää rakentaa aikataulua, joka kestäisi myös suuria häiriöitä tai liikenteen keskeytyksiä.

Artikkelissa on kuvattu lyhyesti 15 edellisen vuoden aikana tehtyä rautatieliikenteen täsmällisyyden ja aikataulusuunnittelun tutkimusta. Yhteenvetona todetaan, että pääfokus tutkimuksessa on simulointiohjelmistoissa itsessään ja vain vähän tutkimusta on tehty aikataulusuunnittelun vaikutuksista luotettavuuteen. Tämä tukee niitä havain-toja, joita tässä kirjallisuuskatsauksessa rautatieliikenteen täsmällisyydestä on tehty. Huomionarvoista on myös se, että myös kirjoittajat viittaa arviossaan lähteisiin, jotka esiintyvät myös tässä kirjallisuuskatsauksessa. Tämä antaa viitteen siitä, että kirjalli-suushauissa on lähestytty saturaatiopistettä.

CASSON. JOURNAL ARTICLE 2004.

**THE FUTURE OF THE UK RAILWAY SYSTEM: MICHAEL BROOKE'S VISION**

Cassonin (2004) mukaan rautateiden suorituskvyn optimoinnissa aikataululla on keskeinen merkitys. Matkustajien näkökulmasta aikataulu mahdollistaa:

- ajankäytön optimoinnin niin, että matkustajat saapuvat asemalle minimoiden odotusaikansa
- että yhteydet voidaan taata
- junien kulun suunnittelun niin, ettei muiden junien kulku häiritse ja synny viiveitä.

Yhdessä palvelun laadun ja hintojen kanssa aikataulu muodostaa rautatieliikenteen *perustuotteen* matkustajille. Aikataulun avulla kilpaillaan muiden kulkumuotojen kanssa. Casson esittää aikataulun sisältävän paljon kriittistä tietoa muun muassa kysynnästä, infrastruktuurin ja kaluston saatavuudesta sekä ohjaa monia toimintoja tuottaen samalla tietoa takaisin suunnitteluun.

HALLOWELL & HARKER. JOURNAL ARTICLE 1998.

**PREDICTING ON-TIME PERFORMANCE IN SCHEDULED RAILROAD OPERATIONS: METHODOLOGY AND APPLICATION TO TRAIN SCHEDULING**

Hallowell ja Harker (1998) kuvaavat menetelmää, jonka avulla voidaan aikatauluttaa tai suunnitella liikennettä. Simulointia hyödyntävässä menetelmässä käytetään hyväksi lähtö- ja saapumisaikojen poikkeamia, samoin viiveitä. Näiden avulla voidaan suunnitella liikennettä niin, että kohtaamiset yksiraiteisella verkolla tapahtuvat mahdollisimman sujuvasti. Artikkelissa todetaan, että esitetyn menetelmän avulla

voidaan laskea todennäköisiä viiveitä tietyllä rataosuudella lyhyellä, alle 8 tunnin, aikajaksolla.

Artikkelin kirjoittajat ovat amerikkalaisista yliopistoista, ja tarkastelun kohteena on amerikkalainen rautatieliikenne, erityisesti tavaraliikenne.

FIOOLE & KROON & MARÓTI & SCHRIJVER. JOURNAL ARTICLE 2006.  
**A ROLLING STOCK CIRCULATION MODEL FOR COMBINING AND SPLITTING OF PASSENGER TRAINS**

Fioole et al. (2006) tarkastelevat rautatieliikenteen kalustokiertoa ja esittelevät mallin, jonka avulla voidaan suunnitella viikoittainen kalustokierto rataosuudella joka on vilkkaasti liikennöity ja jolla kapasiteetti on tämän johdosta rajoitettu.

DEMITZ & HÜBSCHEN & ALBRECHT. CONFERENCE PROCEEDINGS 2004.  
**TIMETABLE STABILITY - USING SIMULATION TO ENSURE QUALITY IN A REGULAR INTERVAL TIMETABLE 2004**

Demitz et al. (2004) kuvaavat vakioaikataulua ja siihen sisältyviä vaihtoyhteyksiä. Tällaisessa aikataulurakenteessa vaihtoajat ovat usein lyhyitä, alle 8 minuuttia. Tästä johtuen verkon täsmällisyysvaatimukset ovat suuret; muuten viiveet heijastuvat muihin juniin ja häiritsevät vaihtoyhteyksiä. Kirjoittajat myös kuvaavat uutta aikataulua, jossa otetaan huomioon poliittiset toiveet liittyen palvelun tiheyteen, pysähdyksiin yms.

CAREY & CARVILLE. JOURNAL ARTICLE 2003.  
**SCHEDULING AND PLATFORMING TRAINS AT BUSY COMPLEX STATIONS 2003**

Carey ja Carville (2003) tarkastelevat rautatieliikenteen aikataulusuunnittelua suurilla ja vilkkailla rautatieasemilla. Artikkelissa kuvataan kehitettyjä malleja ja algoritmeja, jotka on suunniteltu analogisesti liikenteen ohjaajien tekemien ratkaisujen kanssa. Täsmällisyys on otettu algoritmeissa huomioon osana aikaan sidottuja kustannuksia.

CAREY & CARVILLE. JOURNAL ARTICLE 2000.  
**TESTING SCHEDULE PERFORMANCE AND RELIABILITY FOR TRAIN STATIONS**

Carey ja Carville (2000) ovat tutkineet algoritmien luotettavuutta ja häiriöherkkyyttä. Artikkelin käsittelee asema-aikataulujen suorituskyvyn ja luotettavuuden testausta. Artikkelia on tarkasteltu laajemmin viiveiden ketjuuntumisen yhteydessä (luku 7.3).

Carey on tutkinut useissa artikkelissaan täsmällisyyttä ja aikatauluja. Niitä on tarkasteltu tässä kirjallisuuskatsauksessa useisiin eri teemoihin liittyen.

### **9.3.4 Yhteenveto ja johtopäätökset**

Rautatieliikenteen täsmällisyyteen liittyvä tutkimus yhdistyy aikataulusuunnitteluun monelta osin. Kirjallisuudessa asiaa on lähestytty muun muassa tarkastelemalla aikataulun vakautta, eli sen kykyä minimoida viiveet tai eliminoida ne junan kulkiessa. Tämä voi tapahtua kahdella tapaa, joko ottamalla viiveiden mahdollisuus huomioon jo aikataulusuunnittelussa tai aikatauluttamalla liikenne uudelleen häiriötilanteessa.



Kirjallisuudessa tätä uudelleen aikataulutusta on käsitelty melko paljon. Tämä tehtävä on usein liikenteenohjaajilla. Ja kuten liikenteenohjauksen yhteydessä, myös aikataulusuunnittelua käsittelevissä artikkeleissa nousi esiin tämän tehtävän haasteellisuus. Liikenteenohjaajat tarvitsevat nykyistä luotettavampaa viivetietoa, jotta uudelleen aikataulutus voidaan tehdä parhaalla mahdollisella tavalla. Esiin nousi myös huomio siitä, että liikenteenohjaajien tekemillä päätöksillä junien uudelleen aikataulutuksessa on merkittävä vaikutus kokonaistäsmällisyyteen. Aikataulut ja niiden muuttaminen vaikuttaa siis kaiken kaikkiaan täsmällisyyteen.

Toisaalta viiveiden mahdollisuus voidaan ottaa ja otetaankin huomioon jo aikataulusuunnittelussa. Junien aikatauluihin sisällytetään pieni viive, niin sanottujen pelivarojen muodossa. Kirjallisuudessa perusteltiin pelivarojen käyttö muun muassa sillä, ettei koskaan liikennöidä niin ideaalissa ympäristössä kuin minkä teoreettinen radan kapasiteetti mahdollistaisi. Pelivarojen avulla junien on mahdollista absorboida viiveet.

Aikataulurakenteen nähdään vaikuttavan viiveiden ketjuuntumiseen. Tätä teemaa on tarkasteltu myös kirjallisuudessa. Viiveiden ketjuuntumisen voidaan nähdä aiheutuvan juuri aikataulusta, ja ilmiötä voidaan myös vähentää osittain aikataulusuunnittelun avulla. Aikataulusuunnittelulla voidaan vaikuttaa erityisesti pieniin viiveisiin ja niiden leviämiseen. Kirjallisuudessa kuitenkin todetaan, ettei aikataulua voida suunnitella niin, että se kestäisi myös suuret häiriöt.

Aikataulusuunnittelua käsittelevä tutkimus painottuu erilaisten menetelmien käyttöön; menetelmistä korostuu erityisesti simulointi. Varsin vähän on tehty tutkimusta, jossa tarkasteltaisiin aikataulurakenteen vaikutusta täsmällisyyteen.

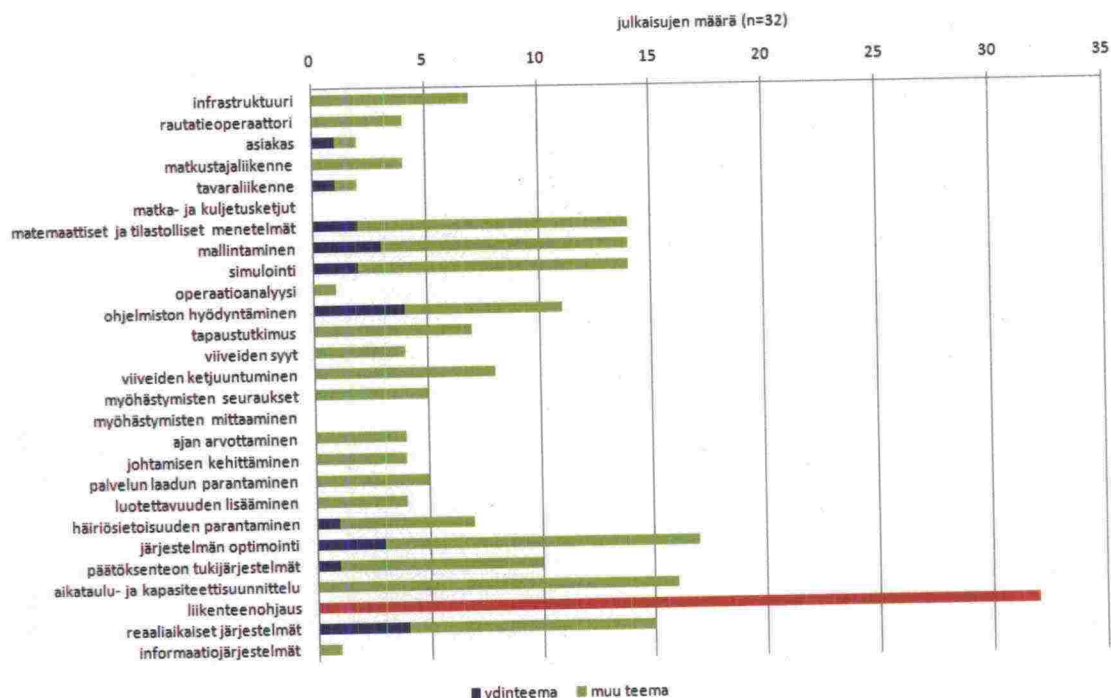
#### 9.4 Liikenteenohjaus

Liikenteenohjauksen avulla voidaan varmistaa liikenteen sujuvuus ja tuvallisuus. Erityisesti häiriötilanteissa liikenteenohjauksen on mahdollista vaikuttaa myös viiveiden leviämiseen verkolla ja tätä kautta koko järjestelmän.

Liikenteenohjaus-teemassa käsitellään julkaisuja, joissa tarkastellaan liikenteenohjauksen – niin reaaliaikaisen kuin pitkän ajan suunnitelunkin – vaikutuksia täsmällisyyteen. Julkaisut on valittu tähän ryhmään, mikäli niissä on liikenteenohjauksen keinoin tai uusien ohjausjärjestelmien avulla pystytty parantamaan täsmällisyyttä. Toisaalta näkökulmana voivat myös olla liikenteenohjauksen ratkaisujen vaikutukset täsmällisyyteen.

Kirjallisuuskatsauksen perusteella täsmällisyydellä ei ole merkittävää roolia liikenteenohjausta käsittelevän tutkimuksen yhteydessä, vaan pikemmin täsmällisyyden paraneminen esitetään yhtenä liikenteenohjauksen tehostumisen sivutuotteena.

Liikenteenohjausta käsitteleviä julkaisuja on mukana tässä kirjallisuuskatsauksessa paljon, yli 70 kappaletta, niistä 32:ssa ydinteemana on liikenteenohjaus. Kuvassa 9.5 on esitetty näissä 32 julkaisussa esiintyvät muut luokitellut teemat.



Kuva 9.5 Ydinteeman *LIIKENTEENOHJAUS* kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat.

Kuvan 9.5 perusteella täsmällisyystutkimusta tehdään liikenteenohjauksen näkökulmasta hyödyntämällä erilaisia menetelmiä, simulointia, mallintamista ja matemaattisia ja tilastollisia menetelmiä. Liikenteenohjauksen näkökulmasta täsmällisyyteen voidaan vaikuttaa myös aikataulutuksella, minkä johdosta tämäkin teema erottuu kuvassa.

Raportin liitteenä on luettelo liikenteenohjaus-teemaa käsittelevistä julkaisuista. Mukana on 53 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus).

#### 9.4.1 Tulevaisuuden liikenteenohjaus: ohjataan uudelleen suunnitellen

KAUPPI & WIKSTRÖM & SANDBLAD & ANDERSSON. JOURNAL ARTICLE 2006.  
**FUTURE TRAIN TRAFFIC CONTROL: CONTROL BY RE-PLANNING**

Artikkelin lähtökohtana on ajatus, että tehokkaan tietokonepohjaisen liikenteenohjausjärjestelmän avulla ongelmatilanteisiin voidaan reagoida nopeammin ja jopa ennakoivasti, mikä edesauttaa rautatieliikenteen pysymistä aikataulussa ja viiveiden pienene- mistä. Kauppi et al. (2006) ovat antaneet 21:lle liikenteenohjauksen ammattilaiselle testattavaksi uudenlaisen liikenteenohjausjärjestelmän käyttöliittymän, jonka avulla koehenkilöiden on tarkoitus selvittää ongelmatilanteet ja optimoida radankäyttöä kuvitteellisissa tilanteissa. Tutkimus on osa vuonna 1997 aloitettua projektia nimeltä The Future Train Traffic Control (FTTC).

Keskeisin osa-alue tutkimuksessa on prototyyppi uudesta liikenteenohjauksen käyttöliittymästä ja sen testauttaminen alan ammattilaisilla. Käyttöliittymässä junien liikennöinti suunnitellaan melko perinteisen diagrammin avulla, jossa toisella akselilla on



aika ja toisella tietty rataosuus asemineen. Sovellus ottaa huomioon myös raiteiden määrän. SIMSON-sovellukseen on mahdollista tutustua osoitteessa <http://www.it.uu.se/research/project/fts/simson>.

Tapaustutkimuksessa koehenkilöiden tehtävänä oli selvittää jokin tai jotkin neljästä poikkeustilanteesta käyttöliittymän avulla. Ensimmäisessä tilanteessa juna varaa kohtauspaikan toisen raiteen tietyksi ajaksi konerikon vuoksi. Toisessa tilanteessa radan kunnossapitotyöt pitävät kokonaisen rataosuuden poissa käytöstä tietyn ajan. Kolmannessa tilanteessa suunnitelmaan tulee sovittaa yksi ylimääräinen juna jo ennestään tiukan aikataulun keskelle, ja neljännessä tilanteessa juna kykenee konevian vuoksi etenemään vain vajaalla nopeudella.

Tutkimuksen tuloksissa keskeisin suure on kunkin vastaajan valitsemassa ratkaisuvaihtoehdossa aiheutunut, yhteenlaskettu viive minuutteina. Tuloksissa on esitetty vain viiveet, jotka ovat syntyneet kunkin vastaajan ratkaisussa kuhunkin tilanteeseen, eikä vertailuaineistoa ole olemassa. Keskeisin tuloksista nouseva päätelmä on, että vastaajien välille syntyi melko suuria eroja, mikä tutkimuksen tekijöiden mukaan juontaa juurensa koehenkilöiden vaihtelevaan valmiuteen ja haluun ottaa riskejä ja jättää vähän pelivaraa junien kulun suunnittelussa.

Tutkimuksen toinen osa on koehenkilöiden haastatteleminen ehdotetun järjestelmän käytännön toimivuudesta. Pääosin vastaanotto oli positiivista, ja järjestelmän uskottiin olevan toteuttamiskelpoinen. Artikkelissa ei kuitenkaan kerrota, uskovatko haastatellut henkilöt, että järjestelmän avulla voitaisiin saavuttaa suoranaisia etuja esimerkiksi täsmällisyyttä ajatellen. Eräät liikenteenohjaajat huomauttivat myös, että todellisuudessa tilanne on monimutkaisempi ja tietoa on paljon enemmän, mistä syystä tehtävä olisi käytännössä huomattavasti vaikeampi toteuttaa. Tutkimuksen tekijät mainitsevat lisäksi, että käyttöliittymän toiminnallisuus olisi todellisessa järjestelmässä huomattavasti nyt käytettyä prototyyppiä laajempi. Osittain sen takia harjoitteluun ja käyttöliittymään tutustumiseen tulisi käyttää aikaa huomattavasti enemmän kuin tutkimuksessa sallitut 15 minuuttia.

Kaupin et al. (2006) mukaan järjestelmä käyttöliittymineen mahdollistaa sen, että liikenteenohjaajan päätökset ja tietojärjestelmässä oleva tieto junien liikennöinnistä ja radankäytöstä pysyvät yhtäpitävinä. Toinen tärkeä etu on järjestelmän suunnittelu sellaiseksi, että se mahdollistaa konfliktien huomaamisen nopeasti tai etuajassa. Kun tietojärjestelmässä on koko ajan saatavilla ajantasainen tieto rataverkon tilasta, myös konfliktitilanteiden hoitamiseen kelpaavien vaihtoehtojen löytäminen ja täytäntöönpano sujuu nopeammin ja viiveitä voidaan tätä kautta pienentää.

#### **9.4.2 Optimaalinen liikenteenohjaus rataverkon solmukohdissa**

HO & NORTON & GOODMAN. JOURNAL ARTICLE 1997.  
**OPTIMAL TRAFFIC CONTROL AT RAILWAY JUNCTIONS**

Artikkeli keskittyy liikenteenohjauksen optimointiin liikenteen solmukohdissa päämääränä aikakustannuksen minimointi. Ho et al. (1997) esittelevät uudenlaisen menetelmän ohjata liikennettä rataverkolla. Malli perustuu junien liikkeiden ennustamiseen todennäköisyysfunktioiden avulla. Malli on periaatteeltaan tilanneperusteinen (*event-based*), jolloin sen avulla on tarkoitus ratkaista nopeasti yllättävienkin



poikkeustilanteiden aiheuttamia häiriöitä rataverkolla. Simulaatioissa tutkijoiden tilanneperusteinen malli toimii 20 kertaa nopeammin kuin aikaperusteinen malli, joten etu on huomattava. Lisäksi menetelmässä hyödynnetään dynaamista ohjelmointia, jolla monivaiheinen ja monta muuttujaa sisältävä ongelma muutetaan sarjaksi yksivaiheisia ongelmia, joista kukin käsittää vain muutaman muuttujan. Päämääränä on minimoida tietyssä liikenteenohjauksen kannalta kriittisessä pisteessä syntyvä aikakustannus, joka kasvaessaan näkyisi junien myöhästymisinä. Erityistä huomiota on kiinnitetty rautateiden solmukohtiin ja paikkoihin, joissa raiteiden määrä muuttuu, koska niissä konfliktin ja aikahäviöiden todennäköisyys on suuri.

Menetelmään perustuvaa liikenteenohjausta on verrattu simulaatioilla *first come, first served* -menetelmään (FCFS), joka on yksinkertaisin ja yleisimmin rautateiden solmukohtissa sovellettu käytäntö. Tulokset osoittavat, että yksinkertaisissa tapauksissa tutkijoiden menetelmällä syntyvä aikakustannus on aina korkeintaan samansuuruinen tai pienempi kuin FCFS:llä. Monimutkaisemmissa tilanteissa järjestelmän täytyy tuottaa suuri joukko vaihtoehtoisia aikatauluja ja valita niistä optimaalisin. Lisäksi yksinkertaistuksia voidaan joutua tekemään, jotta laskentavaatimukset eivät kasva kohtuuttomiksi. Simulaatioiden perusteella uusi menetelmä pienentää aikakustannuksia noin 10 % verrattuna FCFS:ään. Tutkijat toteavat kuitenkin, että FCFS on vahvimmissaan simulaatioissa sovelletun kaltaisissa yksinkertaisissa tilanteissa. Suurempaa eroa voitaisiin odottaa todellisemmassa tilanteessa, jossa esimerkiksi konfliktikohta olisi monimutkaisempi kuin yksinkertainen risteys ja junien nopeuksien välillä olisi vaihtelua.

Tässäkin artikkelissa esitetty menetelmä parantaa siis liikenteenohjausta konfliktitilanteissa ja tätä kautta vähentää myös viiveitä ja niistä aiheutuvia aikakustannuksia. Vaikka mallissa minimoidaan aikakustannuksia, on menetelmällä tavoitteena parempi liikenteen sujuvuus ja liikenteenohjauksen helpottaminen, ei niinkään täsmällisyyden parantaminen.

Ho on kirjoittanut yhdessä Yeungin kanssa myös artikkelin (Ho & Yeung 2001) liikenteenohjauksesta, mutta tässä artikkelissa täsmällisyyden tai viiveiden minimoinnin osuus on hyvin vähäinen.

#### **9.4.3 Täsmällisyyttä liikenteenohjauksen näkökulmasta käsitteleviä muita julkaisuja**

SHOJI & IGARASHI. CONFERENCE PROCEEDINGS 1997.

**NEW TRENDS OF TRAIN CONTROL AND MANAGEMENT SYSTEMS WITH REAL-TIME AND NON REAL-TIME PROPERTIES**

Shoji ja Igarashi (1997) käsittelevät liikenteenohjausta tietojärjestelmien näkökulmasta. Kohteena ovat Japanin Shinkansen-luotijunat, joille otettiin vuonna 1995 käyttöön uudenlainen ohjausjärjestelmä. Artikkelissa kuvataan, mitä asioita uudella järjestelmällä pyrittiin parantamaan ja millaisia vaatimuksia järjestelmälle näin asetettiin. Järjestelmän vaatimusten jälkeen artikkelissa esitetään keinot, joilla ongelmiin pyritään vastaamaan.

Kirjoittajat toteavat, että uudella järjestelmällä on saavutettu etuja. Samalla kun luonteeltaan keskitetystä järjestelmästä on siirrytty enemmän hajautettuun, tiedon siirtyminen osajärjestelmien välillä on saatu sujuvaksi. Diagrammien ja aikataulujen



tarkistamiseen kuluva aika on vähentynyt kolmanneksella, ja näin aikataulun muokkaaminen nopeasti tilanteen vaihtuessa sujuu helposti, mikä parantaa palvelutasoa. Artikkelissa ei puhuta suoranaisesti täsmällisyydestä, vaan se tulee uuden järjestelmän myötä ikään kuin sivutuotteena rivien välissä. Aikataulussa pysymistä auttaa erityisesti käytännössäkin havaittu aikatarpeen pieneneminen, kun liikennöintisuunnitelmaa halutaan päivittää operatiivisella tasolla tilanteen eläessä.

Artikkelissa viitataan seuraavaan artikkeliin:

- Kitahara, F. & Kera, K. 1995. Widely distributed train traffic control system and its step-by-step construction. Proceedings of ISADS 95, Arizona, USA, p. 93–102.

Kitaharan ja Keran artikkeli on tiivistelmän perusteella samalla tavalla tietojärjestelmiin suuntautuva kuin Shojin ja Igarashin (1997) artikkeli. Sen sijaan asiasanojen perusteella Kitahara ja Kera keskittyvät ohjelmistotuotantoon, ja rautatieliikenne tarjoaa aiheelle ainoastaan kontekstin.

HIRAGURI & HIRAO & WATANABE, & TOMII & HASE. JOURNAL ARTICLE 2004.  
**ADVANCED TRAIN AND TRAFFIC CONTROL BASED ON PREDICTION OF TRAIN MOVEMENT**

Hiraguri et al. (2004) esittelevät menetelmän liikenteenohjauksen optimoimiseksi erityisesti tiheästi liikennöidyillä rataosuuksilla, kuten kaupunkiradoilla. Tavoitteena on ohjata liikennettä hyödyntämällä reaaliaikaista tietoa junien sijainneista, nopeuksista ja asemilla pysähtymiseen kuluva ajasta. Näiden tietojen perusteella tehdään junien liikkumisesta ennusteita, joihin sovitetaan suunnitellut nopeuskäyrät. Tällä tavalla pyritään välttämään junan pysähtyminen asemien välillä, koska sillä on usein erittäin haitallinen vaikutus koko liikennejärjestelmälle. Tyypillisiä seurauksia ovat vuorovälin epätasaistuminen ja energiankulutuksen kasvu. Menetelmän tavoitteena on ohjata junien liikkumista optimoidusti niin tavanomaisessa tilanteessa kuin häiriön sattuessakin.

Käytännössä menetelmässä lasketaan junalle lähestymispiste (*approach point*) tiettyyn kohtaan ennen seuraavaa asemaa. Piste pitää sisällään sekä sijainnin että tavoite-nopeuden. Pisteeseen saavutettuaan juna joko kiihdyttää uudestaan loppumatkaa varten, jos asemalaituri on vapaana, tai jarruttaa, jos laiturilla ei vapaudu edellisen junan jäljiltä tarpeeksi nopeasti. Toisaalta menetelmä vertaa arvioituja saapumisaikoja aikataulun mukaisiin aikoihin ja lisää vapaalla ajamisen osuutta, jos seuraavalle asemalle saavuttaisiin muutoin edellä aikataulusta.

Tutkijat ovat lisäksi kokeilleet menetelmän toimivuutta simulaatioilla. He ovat todenneet, että ennusteisiin perustuvan ohjauksen avulla voidaan lyhentää häiriö-tilanteesta toipumiseen kuluva aikaa jonkin verran, jolloin myöhästymiset saadaan pienenemään ja loppumaan nopeammin. Koko häiriötilanteen aikana kuluvan energian määrää voidaan niin ikään menetelmän avulla vähentää.

FAY. JOURNAL ARTICLE 2000.

**A FUZZY KNOWLEDGE-BASED SYSTEM FOR RAILWAY TRAFFIC CONTROL**

Fay (2000) esittelee tietämyksenhallintaa hyödyntävän järjestelmän, jonka tehtävänä on tuottaa liikenteenohjaajalle ongelmakeskeistä tietoa tämän päätöksenteon tueksi.

Kyseessä on itse asiassa yksi osa suuremman kokonaisuuden muodostamasta järjestelmästä, jonka muut osat on esitelty saman tekijän aiemmassa artikkelissa.

Järjestelmän toiminta perustuu joukkoon sääntöjä, jotka on muodostettu ammattitaitoisilta liikenteenohjaajilta kootusta tietämyksestä. Lisäksi järjestelmä ottaa huomioon reaaliaikaisesti rataverkolla vallitsevan liikennetilanteen ja laskee näin simulaatioiden perusteella ehdotuksen ratkaisuksi liikenteenohjaajalle. Keskeisiä arvioitavia kustannuksia, jotka järjestelmä ottaa huomioon, ovat junille aiheutuvat viiveet painotettuina junien prioriteetilla, matkustajille aiheutuvat viiveet, sekä myöhästymisistä välillisesti aiheutuvat, yleensä rahamääräiset kustannukset.

Järjestelmää käyttävällä liikenteenohjaajalla on aina mahdollisuus tarkastella, mihin järjestelmän suositus perustuu, ja sääntöjä on myös mahdollista muokata jälkeenpäin. Olennaisena seikkana järjestelmän laskema toimenpide-ehdotus ei sinällään ratkaise vielä mitään, vaan lopullinen päätös on järjestelmän suosituksista riippumatta aina liikenteenohjaajalla. Tutkijoiden suorittamissa simulaatioissa järjestelmä tarjosi parhaan mahdollisen vaihtoehdon arvioiden mukaan runsaassa 90 prosentissa tapauksista. Tutkijoiden mukaan järjestelmä voidaan rakenteensa ansiosta ottaa käyttöön hyvin monenlaisissa joukkoliikennejärjestelmissä.

Artikkelissa viitataan seuraaviin lähteisiin, jotka ovat täsmällisyydenkin kannalta oleellisia. Joukossa on muun muassa tekijän aiempi tutkimus.

- Fay, A. & Schnieder, E. 1997. Knowledge-based decision support system for real-time train traffic control. CASPT'97, Preprints of the 7th International Workshop on Computer-Aided Scheduling of Public Transport, 6–8 August. Boston, MA, p. 109–125.
- Komaya, K. & Fukuda, T. 1989. ESTRAC-III – An expert system for train traffic control in disturbed situations. IFAC Conf. Control, Computers, Communications in Transportation, Paris, p. 147–153.
- Schäfer, H. & Pferdmenges, S. 1994. An expert system for real-time train dispatching. Proceedings of the COMPRAIL'94 in Madrid Computational Mechanics Publication, Southampton, p. 27–34.

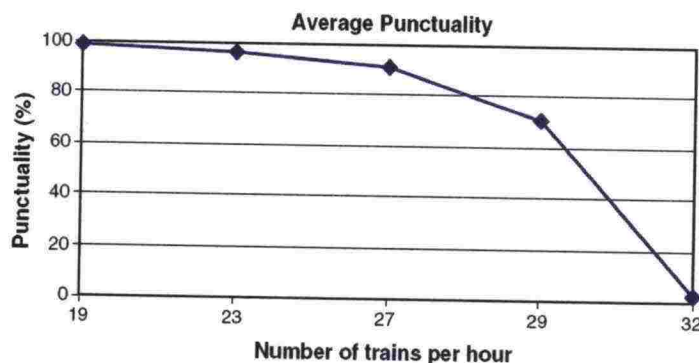
MAZZARELLO & OTTAVIANI. JOURNAL ARTICLE 2007.

#### **A TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEM FOR REAL-TIME TRAFFIC OPTIMISATION IN RAILWAYS**

Mazzarellon ja Ottavianin (2007) artikkeli painottuu liikenteenohjauksen ja -hallinnan työkaluun (Traffic Management System, TMS) ja sen rakenteeseen, käyttöönottoon ja lähestymistapaan. Uuden, kehittyneemmän järjestelmän avulla voidaan muun muassa ennakoida mahdollisia konfliktitilanteita ja ratkaista niitä reaaliajassa. TMS-järjestelmä myös ehkäisee yllättävien viiveiden syntymistä.

Täsmällisyyden kannalta oleellisena asiana tutkimuksessa esitellään simuloinnin tuloksena tietylle rataosalle saatua, keskimääräisen täsmällisyyden suhdetta junien lukumäärään tunnissa. Tämän suhteen kirjoittajat kuvaavat artikkelissaan kuvassa 9.6 esitetyllä tavalla.





Kuva 9.6 Täsmällisyyden suhde junien lukumäärään Mazzarellon ja Ottavianin (2007) mukaan.

WEITS. JOURNAL ARTICLE 1998.

#### SIMULATION OF RAILWAY TRAFFIC CONTROL

Weits (1998) tarkastelee rautatieliikenteen simulointimallia keskittyen kuitenkin liikenteenohjauksen toimintoihin. Täsmällisyydestä artikkelissa todetaan, että ei ole olemassa junaa, joka pystyisi noudattamaan tarkasti aikataulua. Täsmällisyys voidaan määritellä tietyn pisteen ohitukseen suunnitellun aikaikkunan avulla, joko aikaikkunan ulkopuolelle eli myöhästyneeksi tai kulkemaan aikaikkunan rajoissa eli ajoissa.

#### 9.4.4 Yhteenveto ja johtopäätökset

Liikenteenohjausta ja täsmällisyyttä yhdistävää tutkimusta löytyi tietokantoihin tehtyjen hakujen perusteella paljonkin. Näiden artikkelien tarkempi läpikäynti kuitenkin osoitti, ettei täsmällisyydellä ole merkittävää osuutta liikenteenohjausta käsittelevän tutkimuksen yhteydessä. Tehokkaampi liikenteenohjaus kuitenkin parantaa usein myös täsmällisyyttä, mistä johtuen aihetta sivutaan useassa tieteellisessä artikkelissa.

Läpikäytyjen artikkelien pohjalta voidaan todeta, että liikenteenohjausta pyritään tehostamaan muuttamalla toimintaa proaktiivisempaan suuntaan, jolloin myös rata-verkolla syntyviin häiriöihin voidaan reagoida nopeammin ja pienentää mahdollisesti syntyviä viiveitä.

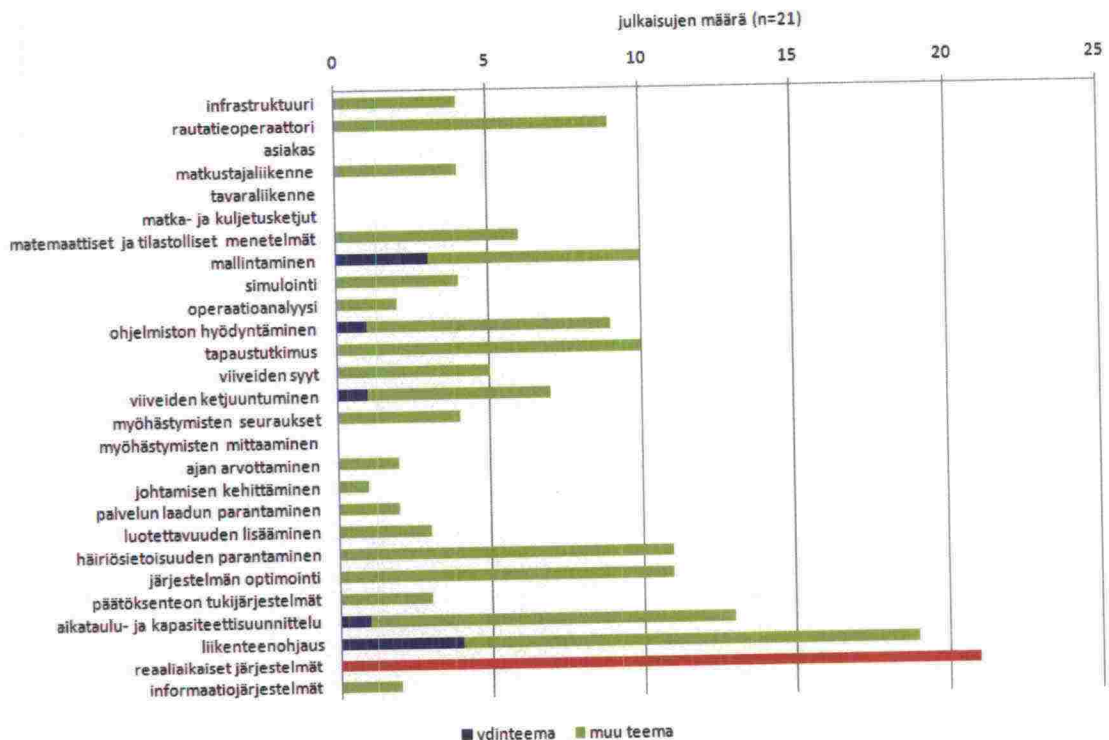
Liikenteenohjauksen tehostamiseen ratkaisuksi esitetään uusia menetelmiä, joissa useissa on taustalla simulointi. Artikkeleista kävi ilmi, että erilaisilla tietojärjestelmillä on voimakas rooli näissä tutkimuksissa. Tästäkin johtuen liikenteenohjausta ja täsmällisyyttä yhdistävä tutkimus kuuluu usein muuhun kuin perinteiseen liikennetutkimukseen tai laajemmin yhteiskuntataloudelliseen tutkimukseen.

Täsmällisyyden ja liikenteenohjauksen sitoo toisiinsa kuitenkin kirjallisuudessa esitetty tieto siitä, että liikenteenohjauksen menetelmien onnistumista ja liikenteenohjauksen suorituskykyä seurataan myös syntyneiden viiveiden kautta. Viiveiden kokonaismäärä, kesto tai menetelmien avulla saavutettu muutos toimii useammassakin järjestelmässä eräänlaisena liikenteenohjauksen mittarina. Erityisesti tätä ajatusta ei ole tutkimuksissa nostettu esiin, mutta tässä tutkimuksessa, arvioitaessa artikkeleita erityisesti täsmällisyyden näkökulmasta, on se mainitsemisen arvoinen havainto.

## 9.5 Reaaliaikaiset järjestelmät

Tässä luvussa tarkastellaan tutkimuksia, joissa kehitetään erilaisia reaaliaikaisia järjestelmiä. Tällaisia ovat esimerkiksi erilaiset reaaliaikaiset häiriötilanteisiin suunnitellut järjestelmät, joiden tehtävänä on esimerkiksi liikenteen uudelleenaikataulutus viiveen sattuessa. Teemaan kuuluvat myös automaattipilotit sekä kuljettajan käyttämät *on board* -järjestelmät, jotka tarjoavat heille tietoa täsmällisyyteen liittyvistä asioista, kuten muiden junien viiveistä. Tällaiset työkalut liittyvät usein kiinteästi liikenteenohjauksen järjestelmiin, joten useat tässä luvussa esitellyt tutkimukset esiintyvät myös edellisessä luvussa.

Teemaan sopivia julkaisuja löytyi melko paljon. Kuvassa 9.7 on esitetty ne julkaisut, joissa jokin reaaliaikainen järjestelmä nousi tutkimuksen pääteemaksi.



Kuva 9.7 Ydinteeman REAALIAIKAISET JÄRJESTELMÄT kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat.

Merkittävin huomio kuvasta 9.7 on se, että reaaliaikaiset järjestelmät näyttävät liittyvän usein liikenteenohjaukseen, mutta myös aikataulu- ja kapasiteettisuunnitteluun. Näiden lisäksi tavoitteena korostuvat häiriösietoisuuden parantaminen ja järjestelmän optimointi. Menetelmistä mallintaminen on vahvimmin esillä.

Raportin liitteenä on luettelo reaaliaikaiset järjestelmät -teemaa käsittelevistä julkaisuista. Mukana on 33 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus).

Luvuissa 9.5.1 ja 9.5.2 käsitellään laajemmin kahden tekijän, D'Arianon ja Hansenin, tutkimuksia. Luvussa 9.5.3 on puolestaan esitelty suppeammin joukko muita teemaan liittyviä tutkimuksia.



### 9.5.1 Menetelmiä reaaliaikaisen liikenteenohjauksen kehittämiseen

D'ARIANO. DISSERTATION 2008.

#### IMPROVING REAL-TIME TRAIN DISPATCHING: MODELS, ALGORITHMS AND APPLICATIONS

D'Ariano (2008) käsittelee väitöskirjassaan reaaliaikaista liikenteenohjausta häiriötilanteissa viiveiden vähentämiseksi. Julkaisussa esitellään reaaliaikaisen järjestelmän toimintoja ja niissä käytettäviä algoritmeja ja malleja, joilla häiriötilanteita pyritään ratkaisemaan. Reaaliaikaisilla järjestelmillä voidaan uudelleenaikatauluttaa, uudelleenreitittää ja muuttaa junien järjestystä sekä nopeutta. Järjestelmän tavoitteena on sekundääriviiveiden etenemisen minimoiminen häiriötilanteissa ja sitä kautta täsmällisyyden parantaminen.

Julkaisussa luodaan esiteltyihin algoritmien perustuva reaaliaikaista liikenteenohjaajan päätöksentekoa tukeva järjestelmä ROMA. Järjestelmä valvoo reaaliaikaisesti junien liikkeitä ja ennakoii junien liikkeitä tulevaisuudessa sekä tunnistaa tulevat häiriötilanteet. Häiriötilanteessa järjestelmä avustaa liikenteenohjaajan työtä laskemalla uudet aikatauluun sopivat lähtö- ja saapumisajat, uudelleenjärjestämällä sekä uudelleenreitittämällä junia sekä muuttamalla junien nopeusprofiileja. Lisäksi julkaisussa esitellään menetelmää, jolla voidaan ratkaista laajoja häiriötilanteita ulottamalla tilanteen tarkastelu useamman tunnin ajalle. Menetelmässä tarkasteltava aikaväli jaetaan intervaleihin, joissa häiriöt tunnistetaan ja ratkaistaan.

ROMA:n toimintaa testataan tietokoneella suoritetuissa tutkimuksissa. Tutkimuksessa käytetään pohjana osaa Alankomaiden rautatieverkosta. Järjestelmän toimintaa tutkitaan ratkaisemalla sillä erilaisia häiriötilanteita. Tutkimuksessa havaitaan, että ROMA tuottaa häiriötilanteeseen ratkaisun, jossa aiheutunut viive on pienempi kuin minkä liikenteenohjaaja kykenee käyttävissä olevilla ohjausmenetelmillään saavuttamaan. Tämän perusteella järjestelmää pidetään potentiaalisena viiveen etenemisen minimoimiseksi häiriötilanteissa.

ROMA:n toimintaa ei kuitenkaan ole testattu käytännössä. Tekijä ehdottaa jatko-tutkimusaiheeksi ROMA:n käyttöönoton liikenteenohjauskeskuksessa, jotta sen toiminnasta saataisiin käytännön kokemuksia. Tätä varten järjestelmä tarvitsee kuitenkin lisäkehitystä. Se täytyy yhdistää laajaan liikenteenvalvontajärjestelmään, josta se saa tarvittavat tiedot liikenteen reaaliaikaisesta etenemisestä. Sen lisäksi järjestelmän tulisi ottaa huomioon laajemmin junien ohjaamiseen vaikuttavia tekijöitä kuten esimerkiksi erilaisten junien välinen priorisointi. Lisäksi tulisi ottaa huomioon liikenteenohjauksen toteuttaminen laajalla rautatieverkolla, jossa ohjauksesta vastaavat useat liikenteenohjaajat.

Väitöskirjassa on esitetty laajasti reaaliaikaista liikenteenohjausta ja siihen käytettäviä algoritmeja ja malleja. Tekijä kollegoineen on julkaissut useita samaa asiaa käsitteleviä artikkeleita, joissa kussakin on perehdytty tarkemmin yhteen väitöskirjan osa-alueista. Seuraavaksi on tarkasteltu lyhyesti muutamia näistä artikkeleista.

D'ARIANO & ALBRECHT. CONFERENCE PROCEEDINGS 2006.

#### **RUNNING TIME RE-OPTIMIZATION DURING REAL-TIME TIMETABLE PERTURBATIONS**

D'Ariano ja Albrecht (2006) käsittelevät reaaliaikaista häiriötilanteen ratkaisujärjestelmää, joka avustaa liikenteenohjaajaa luomaan optimaalisia junan ajoprofiileja, jotka sopivat paremmin uuteen junien järjestykseen ja mahdollistavat viiveiden vähentämisen. Artikkelissa esitellään erilaisia menetelmiä ja algoritmeja, joita käytetään häiriötilanteen ratkaisuun, uudelleenaikataulutukseen ja ajoaikojen optimointiin. Lisäksi järjestelmän toimivuutta testataan tietokoneella tehdyllä tutkimuksella, joissa pohjana käytetään Alankomaiden rautatieverkkoa.

D'ARIANO & PRANZO & HANSEN. JOURNAL ARTICLE 2007.

#### **CONFLICT RESOLUTION AND TRAIN SPEED COORDINATION FOR SOLVING REAL-TIME TIMETABLE PERTURBATIONS**

D'Ariano et al. (2007) tarkastelevat junalle sopivan nopeuden määrittämisestä reaaliaikaisesti häiriötilanteen ratkaisemiseksi. Artikkelissa esitellään malleja ja menetelmiä, joilla määritetään junille sopiva vuoroväli ja nopeusprofiili konfliktittoman aikataulun muodostamiseksi. Liikenteenohjausjärjestelmän toimintaa tutkitaan tietokoneella tehdyllä laskennallisella tutkimuksella, joka perustuu vakioaikatauluun Alankomaiden rautatieverkolla. Automaattinen liikenteenohjausjärjestelmä tuottaa ratkaisun, jossa aiheutuva viive on pienempi kuin ihmisen toimiessa liikenteenohjaajana.

D'ARIANO & PACCIARELLI & PRANZO. JOURNAL ARTICLE 2008.

#### **ASSESSMENT OF FLEXIBLE TIMETABLES IN REAL-TIME TRAFFIC MANAGEMENT OF A RAILWAY BOTTLENECK**

D'Ariano et al. (2008b) ovat tutkineet joustavien aikataulujen käyttöä reaaliaikaisessa liikenteenohjauksessa sekundääriviiveiden minimoimiseksi ja täsmällisyyden parantamiseksi. Joustavan aikataulun vaikutuksia selvitetään laskennallisissa tutkimuksissa käyttämällä Alankomaiden raideverkon aikataulua, josta luodaan erilaisia joustavia aikatauluja muuntamalla lähtö- ja saapumisajat minimi- ja maksimimuotoisiksi. Mitä suurempi aikataulun joustavuus on, sitä pienempiä ovat maksimaalinen kokonaissekundääriviive ja maksimaalinen keskimääräinen sekundääriviive. Johtopäätöksenä todetaan aikataulujen joustavuuden antavan vapautta konfliktien ratkaisuun ja parantavan täsmällisyyttä. Joustavan aikataulun jatkotutkimusta suositellaan.

Artikkeli keskittyy aikataulujen joustavuuteen ja muokkaamiseen reaaliajassa tilanteen mukaan. Aiheelle kehitetään vahva matemaattinen kehys, minkä jälkeen vertaillaan laskennallisesti neljää eri algoritmia, joilla uusia aikatauluja voidaan nopeasti laskea. Yleisesti käytössä oleva *first come first serve* -algoritmi (FCFS) tuotti suurimmat keskimääräiset ja maksimiviiveet, kun taas tekijän oma *branch and bound* -ratkaisu menestyi parhaiten. Toisaalta algoritmi vaati eniten laskenta-aikaa, kun taas FCFS:llä laskenta tapahtui lähes reaaliajassa.

Muut vertailun algoritmit, *first leave first serve* (FLFS) sekä Masciksen ja Pacciarellin esittelemä AMCC, johon artikkelissa viitataan, sijoittuivat välimaastoon. Lisäksi tärkeä tutkimuksen havainto on, että joustavilla aikatauluilla, joissa hyödynnetään aikaikkunoita tarkkojen lähtö- ja saapumisaikojen sijaan, voidaan saavuttaa samalla liikennemäärällä parempi täsmällisyys kuin jäykkiä aikatauluja käyttäen. Jos vastaavasti



asetetaan myöhästymisille tietty sallittu raja, joustavilla aikatauluilla voidaan saavuttaa suurempi kapasiteetti ja näin kaiken kaikkiaan tehokkaampi infrastruktuurin käyttö.

D'ARIANO & CORMAN & PACCIARELLI & PRANZO. JOURNAL ARTICLE 2008.  
**REORDERING AND LOCAL REROUTING STRATEGIES TO MANAGE TRAIN TRAFFIC IN REAL TIME**

D'Ariano et al. (2008a) käsittelevät reaaliaikaisen liikenteenohjausjärjestelmä ROMA:n käyttämistä junien uudelleenreitittämisessä ja -järjestämisessä häiriötilanteissa. Artikkelissa esitellään junien liikkeiden järjestämiseksi ja uudelleenreitittämisen optimoimiseksi käytettäviä algoritmeja ja malleja.

Ongelman ratkaisu tapahtuu iteratiivisesti määrittämällä ensin optimaalinen järjestys ja sen jälkeen reititetään uudelleen joitakin junia. Järjestelmän toimintaa testataan tietokoneella tehtävällä tutkimuksella, jossa käytetään pohjana osaa Alankomaiden rautatieverkosta ja tutkitaan erilaisia häiriötilanteita. Johtopäätöksenä todetaan, että nykyisin käytössä olevaan liikenteenohjauskäytäntöön verrattuna järjestelmällä on potentiaalia tehokkaaksi työkaluksi parantamaan täsmällisyyttä.

D'ARIANO & PRANZO. JOURNAL ARTICLE 2009.  
**AN ADVANCED REAL-TIME TRAIN DISPATCHING SYSTEM FOR MINIMIZING THE PROPAGATION OF DELAYS IN A DISPATCHING AREA UNDER SEVERE DISTURBANCES**

Myös tämä artikkeli (D'Ariano & Pranzo 2009) käsittelee ROMA:a. Siinä esitellään reaaliaikaisen ROMA-liikenteenohjausjärjestelmän toimintaa ja sen käyttämiä algoritmeja viiveiden etenemisen vähentämiseksi ja täsmällisyyden parantamiseksi häiriötilanteissa. Järjestelmä määrittää junille reitin, järjestyksen, lähtö- ja saapumisajat ja minimoi junien vuorovälit ja nopeusprofiilit. Viiveiden etenemisen estämiseksi täytyy liikennesuunnittelua tehdä muutamien tuntien ajalle. Tällöin kuitenkin ratkaisun laskemiseen kuluu aikaa. Tässä artikkelissa tarkasteltava aikaväli jaetaan laskemisen nopeuttamiseksi intervaleihin, joissa konfliktit ratkaistaan. Ohjausjärjestelmän toimintaa tutkitaan tietokoneella tehdyissä laskennallisissa tutkimuksissa, joissa järjestelmän toimintaa testataan osalla Alankomaiden rautatieverkosta. Johtopäätöksenä todetaan, että järjestelmän käyttö on tehokas tapa vähentää viiveiden ketjuuntumista.

#### **9.5.2 Täsmällisyyden parantaminen automaattipilotilla ja liikenteenohjauksen päätöksenteon tukijärjestelmällä**

HANSEN. CONFERENCE PROCEEDINGS 2001.  
**IMPROVING RAILWAY PUNCTUALITY BY AUTOMATIC PILOTING**

D'Arianon lisäksi myös Hansen on käsitellyt ansiokkaasti reaaliaikaisia järjestelmiä. Hansen (2001) on tutkinut rautatieliikenteen täsmällisyyden parantamista automaattipilotilla ja liikenteenohjauksen päätöksenteon tukijärjestelmällä.

Artikkelissa esitellään ensin, miten tietoa liikenteen viiveistä kerätään ja miten viivettä mitataan. Lisäksi kuvataan Alankomaissa käytettävää TNV-järjestelmää, jolla voidaan kerätä ja tallentaa tietoa junien liikkeistä rataverkolla. Artikkelissa esitellään myös jakaumia, joilla voidaan kuvata liikenteen viiveitä. Tämä mahdollistaa paremman viiveiden syiden löytämisen ja sitä kautta voidaan parantaa täsmällisyyttä.

Täsmällisyyden parantamismenetelmänä mainitaan juniin asennettava automaattipilotti ja liikenteenohjauksen päätöksenteon tukijärjestelmä. Artikkelissa esitellään, miten automaattipilotti toimisi. Järjestelmä määrittää ensin nykytilanteen liikenneverkolla. Se laskee junien jäljellä olevan matka-ajan edessä oleviin konfliktipisteisiin. Sitten järjestelmä ennustaa junien saapumisviiveet kullekin konfliktipisteelle historiaan perustuvan datan ja kullekin junalle tyypillisen viiveen jakauman avulla. Sen jälkeen järjestelmä määrittää junille järjestyksen ja pienimmän mahdollisen vuorovälin. Tämän perusteella järjestelmä voi laskea junille senhetkiset nopeudet.

Tämän jälkeen järjestelmä tarkistaa senhetkisen ja ennustetun sijainnin ja nopeuden vastaavuutta, ja laskee tarvittaessa nopeudet uudelleen. Sitten järjestelmä tiedottaa lasketut nopeudet ja tarvittavat jarrutukset juniin. Sen jälkeen järjestelmä valvoo vielä senhetkisten ja ennustettujen junien vuorovälien pysymisen.

Tällä menetelmällä pystyttäisiin vähentämään viiveiden todennäköisyyttä ja parantamaan täsmällisyyttä. Automaattipilotin uskotaan pystyvän parantamaan täsmällisyyttä tasolta, jossa 40–80 prosenttia junista on enemmän kuin yhden minuutin myöhässä, tasolle, jossa myöhässä on 10–20 prosenttia junista.

Artikkelissa on käsitelty täsmällisyys-käsitettä hyvin monipuolisesti. Näin ollen artikkeliin on viitattu myös luvussa 3.

### **9.5.3 Täsmällisyyttä reaaliaikaisten järjestelmien näkökulmasta käsitteleviä muita julkaisuja**

TÖRNQUIST. JOURNAL ARTICLE 2007.

#### **RAILWAY TRAFFIC DISTURBANCE MANAGEMENT – AN EXPERIMENTAL ANALYSIS OF DISTURBANCE COMPLEXITY, MANAGEMENT OBJECTIVES AND LIMITATIONS IN PLANNING HORIZON**

Törnquist (2007) tarkastelee liikenteen uudelleenaikataulutusta häiriötilanteissa. Kirjoittajan kehittämää heuristista lähestymistapaa käytetään kokeellisissa tutkimuksissa Ruotsin rautatieverkolla. Tutkimuksessa selvitetään uudelleenaikataulutuksen toimivuutta erilaisissa tilanteissa sekä selvitetään, miten erilaisten tavoitteiden – lopullisen kokonaisviiveen minimointi, kumulatiivisen viiveen minimointi, viiveistä aiheutuneiden kustannusten minimointi – käyttäminen uudelleenaikataulutuksessa vaikuttaa erilaisiin suorituskyvyn mittareihin: lopullinen kokonaisviive, kumulatiivinen viive, viiveen kustannukset, myöhässä olevien junien määrä. Uudelleenaikatautusmenetelmä tuottaa hyvän ratkaisun useissa tilanteissa ja se näyttää soveltuvan erilaisten häiriötilanteiden ratkaisuun.

FLAMINI & PACCIARELLI. JOURNAL ARTICLE 2008.

#### **REAL TIME MANAGEMENT OF A METRO RAIL TERMINUS**

Flamini ja Pacciarelli (2008) käsittelevät reaaliaikaisesti tapahtuvaa aikataulutusta metroliikenteessä. Tehdyn tutkimuksen tarkoituksena on kehittää automaattinen liikenteenohjausjärjestelmä, joka pystyy hoitamaan suurimman osan liikenteenohjauksesta ilman paikallista liikenteenohjaajaa. Järjestelmä reitittää asemille saapuvia junia ja aikatauluttaa niiden lähtöjä tavoitteena parantaa täsmällisyyttä. Tutkimuksessa mallinnetaan ja ratkaistaan aikataulutusingelmaa käyttämällä hyväksi malleja ja



algoritmeja. Laskennalliset tutkimukset osoittavat, että kehitetyllä järjestelmällä on mahdollista ohjata liikennettä tehokkaasti.

DING & CHIEN. JOURNAL ARTICLE 2001.

**IMPROVING TRANSIT SERVICE QUALITY AND HEADWAY REGULARITY WITH REAL-TIME CONTROL**

Ding ja Chien (2001) esittelevät reaaliaikaisen ohjauksen käyttöä liikennepalveluiden laadun ja junien vuorovälin hajonnan pienentämiseksi. Reaaliaikaisella ohjaamisella pyritään ylläpitämään junien säännöllinen vuoroväli, mikä vaikuttaa matkustajien kokemaan palvelun laatuun. Esitellyn reaaliaikaisen ohjausmallin toimintaa simuloidaan yhdysvaltalaisella *light rail* -reitillä. Simuloinnissa havaitaan keskimääräisen matkustajien odotusajan vähenevän merkittävästi ohjauksen ansiosta.

WEGELE & CORMAN & D'ARIANO. CONFERENCE PROCEEDINGS 2008.

**COMPARING THE EFFECTIVENESS OF TWO REAL-TIME TRAIN RESCHEDULING SYSTEMS IN CASE OF PERTURBED TRAFFIC CONDITIONS**

Wegele et al. (2008) vertailevat kahden Saksan ja Alankomaiden liikenneverkoille kehitetyn reaaliaikaisen junien uudelleenaikataulusjärjestelmän tehokkuutta viiveen minimoimiseen häiriötilanteissa. Järjestelmät eroavat toisistaan matemaattisen optimointitekniikkansa perusteella. Järjestelmien toimintaa arvioidaan soveltamalla niitä Alankomaiden liikenneverkon häiriötilanteisiin.

ALBRECHT & VAN LUIPEN & HANSEN & WEEDA. MAGAZINE ARTICLE 2007.

**IMPROVED REAL-TIME INFORMATION FOR DRIVERS AND CONTROLLERS**

Albrecht et al. (2007) käsittelevät reaaliaikaisen informaation jakamista kuljettajille ja liikenteenohjaajille. Rautateiden infrastruktuurista Alankomaissa vastaavan ProRailin sekä liikenneoperaattoreiden kehittämää RouteLink-järjestelmän prototyyppiä testattiin rautatieverkolla ja se paransi täsmällisyyttä lisäämällä kommunikaatiota liikenteenohjaajien ja kuljettajien välillä.

SHIMIZU & TANABE & HONDA & YASURA. CONFERENCE PROCEEDINGS 2006.

**THE NEW SHINKANSEN RESCHEDULING SYSTEM FOR DRIVERS AND CREW**

Shimizu et al. (2006) käsittelevät Shinkansenin uutta kuljettajien ja henkilökunnan töiden uudelleenaikatauluttamisjärjestelmää. Käytössä oleva järjestelmä suunnittelee työt normaalisti etukäteen. Häiriötilanteissa suunnitelma kuitenkin tehdään uudelleen. Tällöin järjestelmä huomioi työn suunnittelussa työn vaihtamiseen liittyvät rajoitukset ja valitsee sopivimman suunnitelman. Järjestelmällä voidaan vähentää junien viiveitä.

MAZZARELLO & OTTAVIANI. JOURNAL ARTICLE 2007.

**A TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEM FOR REAL-TIME TRAFFIC OPTIMISATION IN RAILWAYS**

SHEU & LIN. CONFERENCE PROCEEDINGS 2008.

**DESIGNING AUTOMATIC TRAIN REGULATION FOR MRT SYSTEM BY ADAPTIVE CRITIC METHOD**

SHOJI & IGARASHI. CONFERENCE PROCEEDINGS 1997.

**NEW TRENDS OF TRAIN CONTROL AND MANAGEMENT SYSTEMS WITH REAL-TIME AND NON REAL-TIME PROPERTIES**

KUCKELBERG & WENDLER. CONFERENCE PROCEEDINGS 2008.

**REAL-TIME ASYNCHRONOUS CONFLICT SOLVING ALGORITHMS FOR COMPUTER AIDED TRAIN DISPATCHING ASSISTANCE SYSTEMS**

Myös moni muu artikkeli käsitteli reaaliaikaisuutta – kuitenkin siten, että täsmällisyyttä vain sivuttiin. Tällaisista artikkeleista moni liittyi reaaliaikaiseen liikenteenohjaukseen. Mazzarello et al. (2007) käsittelevät reaaliaikaisen liikenteenohjausjärjestelmän rakennetta ja toimintaa ja Sheu ja Lin (2008) automaattisen junien hallinnan suunnittelua ja hallinnassa käytettäviä malleja. Shoji ja Igarashi (1997) tarkastelevat Japanissa luotijunalinjalla käytössä olevaa liikenteen hallinta- ja ohjausjärjestelmää, jota käytetään sekä reaaliaikaiseen että ei-reaaliaikaiseen liikenteenohjaukseen. Kuckelbergin ja Wendlerin (2008) tutkimuksen kohteena ovat olleet reaaliaikaisen liikenteenohjauksen tukijärjestelmän rakenne ja vaatimukset sekä siinä käytetyt algoritmit.

YU & QIAN & HE. JOURNAL ARTICLE 2008.

**RESEARCH ON APPLICATION OF TWO-DEGREE FUZZY NEURAL NETWORK IN ATO OF HIGH SPEED TRAIN**

DE FABRIS & LONGO & MEDEOSSI. CONFERENCE PROCEEDINGS 2008.

**AUTOMATED ANALYSIS OF TRAIN EVENT RECORDER DATA TO IMPROVE MICRO-SIMULATION MODELS**

LUETHI & MEDEOSSI & NASH. JOURNAL ARTICLE 2009.

**STRUCTURE AND SIMULATION EVALUATION OF AN INTEGRATED REAL-TIME RESCHEDULING SYSTEM FOR RAILWAY NETWORKS**

Moni edellä mainituista julkaisuista hyödynsi simulointimenetelmiä. Esimerkiksi Yu et al. (2008) käsittelevät junien automaattisten ohjausjärjestelmien toimintaa simuloinnin keinoin, De Fabris et al. (2008) simulointimallien kehittämistä käyttämällä malleissa todellisista junien liikkeistä kerättyä tietoa ja Luethi et al. (2009) junien reaaliaikaisen uudelleenaikatauluttamisenjärjestelmän rakennetta ja siihen liittyvää simulointitutkimusta. De Fabrisin et al. artikkelia on käsitelty laajemmin luvussa 6.6 Ohjelmiston hyödyntäminen.



#### **9.5.4 Yhteenveto ja johtopäätökset**

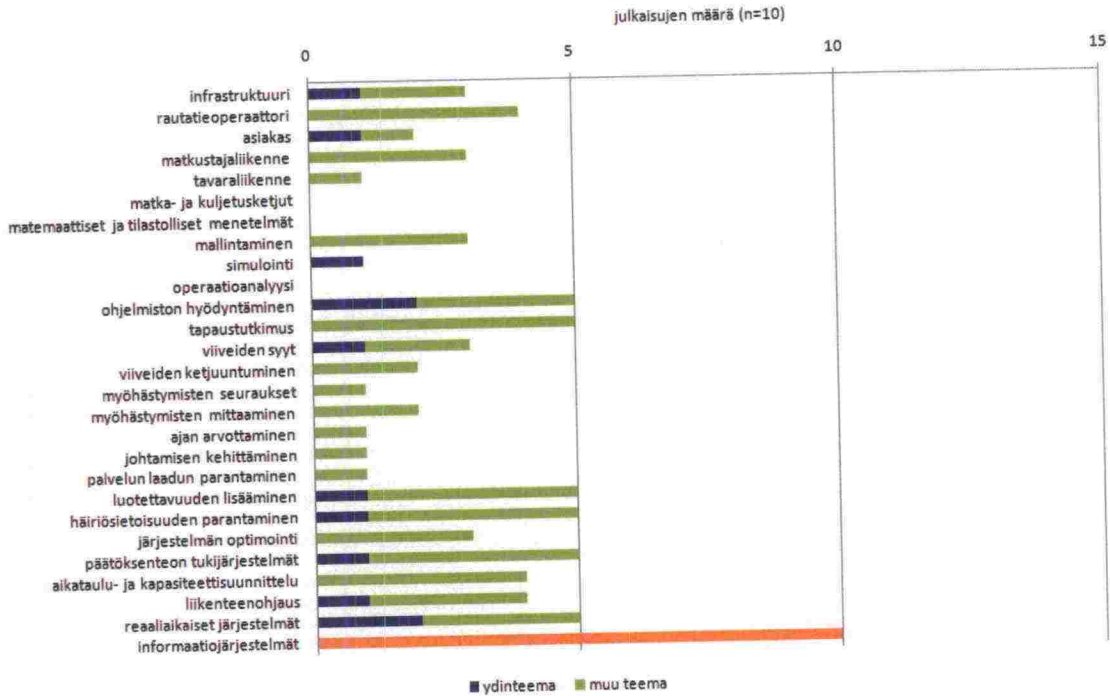
Näyttää siltä, että esille nousseissa tutkimuksissa reaaliaikaiset järjestelmät liittyvät lähes poikkeuksetta liikenteenohjaukseen. Useimpien niistä tavoitteena on reaaliaikainen uudelleenaikataulutus häiriötilanteissa. Tähän liittyen tutkimuksen kohteena ovat erilaiset mallit, algoritmit, simulaatiot ja ohjelmistot. Erityisesti D'Ariano on väitöskirjansa ja siihen liittyvien artikkeliansa myötä hyvin pitkällä teemaan liittyvässä tutkimuksessa.

Koska olemassa oleva tutkimus keskittyy liikenteenohjaukseen, olisi mielenkiintoista tutkia reaaliaikaisten järjestelmien mahdollisuuksia jollakin muilla osa-alueilla. Esimerkiksi aikaisemmin mainittuja kuljettajan ja henkilökunnan reaaliaikaisia informaatiojärjestelmiä oli tarkasteltu vain yksittäisissä artikkeleissa. Lisäksi olisi kiinnostavaa selvittää erilaisten reaaliaikaisten liikenteenohjausjärjestelmien tekemien päätöksen vaikutuksia erilaisista näkökulmista, kuten onko parempi minimoida junien kokonaisviive vai priorisoida joitakin tiettyjä junia. Tähän liittyvä kiinnostava avaus on Törnquistin (2007) artikkeli.

#### **9.6 Informaatiojärjestelmät**

Tässä luvussa tarkastellaan tutkimuksia, joissa kehitetään erilaisia asiakasrajapinnan järjestelmiä, joita käytetään täsmällisyyteen liittyvään viestintään. Asiakasrajapinnalla ei tarkoiteta yksistään matkustajia, vaan myös tavaraliikenteen asiakkaita.

Tähän teemaryhmään liittyviä julkaisuja on kirjallisuuskatsauksessa suhteellisen vähän, kokonaisuudessaan 10 julkaisua. Kuvassa 9.8 on esitetty informaatiojärjestelmiä tarkastelevan täsmällisyystutkimuksen ja muiden teemojen yhteys.



Kuva 9.8 Teeman INFORMAATIOJÄRJESTELMÄT kanssa samoissa julkaisuissa käsitellyt muut teemat.

Kuvasta 9.8 nähdään, että informaatiojärjestelmiä käsittelevässä täsmällisyystutkimuksessa esiintyy melko tasaisesti muitakin näkökulmia. Informaatiojärjestelmänäkökulma näyttää tukevan ainakin luotettavuuden lisäämisen, päätöksenteon ja reaaliaikaisten järjestelmien näkökulmaa. Informaatiojärjestelmiä hyödynnetään täsmällisyyden yhteydessä myös häiriösietoisuuden parantamiseen. Kirjallisuuden perusteella näyttää myös siltä, että ohjelmistoja hyödynnetään rautatieliikenteen täsmällisyyden informaatiojärjestelmien tutkimuksessa.

Raportin liitteenä on luettelo informaatiojärjestelmät-teemaa käsittelevistä julkaisuista. Mukana on 6 julkaisua, jotka on arvioitu täsmällisyystutkimuksen näkökulmasta täysosumiksi tai merkittäviksi osumiksi (vrt. luku 4.2 Teemat ja osuvuus).

### 9.6.1 Täsmällisyyttä informaatiojärjestelmien näkökulmasta käsitteleviä julkaisuja

TÖRNQUIST & GUSTAFSSON. JOURNAL ARTICLE 2004.

#### PERCEIVED BENEFITS OF IMPROVED INFORMATION EXCHANGE – A CASE STUDY ON RAIL AND INTERMODAL TRANSPORTS

Törnquist ja Gustafsson (2004) esittelevät Ruotsissa tehdyn tavaraliikenteen liikennetietotarpeita selvittäneen tutkimuksen tuloksia. Artikkelissa kuvataan selkeästi, ketkä ovat Ruotsin rataviranomaisen (Banverket) asiakkaat tavaraliikenteen osalta ja kuinka Banverket voi parantaa tavaraliikenteen edellytyksiä tarjoamalla erilaista tietoa tavaraliikenteen käyttöön. Tutkimuksen ensimmäinen tavoite oli tunnistaa asiakkaiden tarpeet tiedonvaihdon suhteen ja ymmärtää kuinka asiakkaat hyötyvät tästä tiedosta.



Artikkelissa kuvataan, millaisia tietotarpeita tavaraliikenteessä voi olla erityisesti kuljetuksen aikana, mutta todetaan myös, että tieto saavutetusta suorituskyvystä, kuten täsmällisyydestä, on tärkeää. Näitä tietoja tarvitaan kirjoittajien mukaan muun muassa tavarankuljetusten strategisessa suunnittelussa. Tavarankuljetuksiin liittyvää tiedonvaihtoa ei artikkelin mukaan ole vielä osattu hyödyntää. Osin ongelmana on, ettei ole selvää, minkä tahon tulisi toimittaa tietoja.

KRULLE & LOH. MAGAZINE ARTICLE 2004.

**RIS-MOBILE – PROVIDING INFORMATION VIA MOBILE TERMINALS**

Krulle ja Loh (2004) kuvaavat matkustajien halukkuutta seurata etukäteistiedon lisäksi matkan aikana siihen liittyvää informaatiota junan kulusta. Tätä tarvetta varten Saksassa on kehitetty uusi järjestelmä mobiililaitteita, kuten kännyköitä varten. Järjestelmän kautta on mahdollista ladata personoituja aikatauluja sekä tarkastella ajantasaisia täsmällisyysennusteita jo matkan aikana. Artikkelin on hyvin lähellä käytännön täsmällisyyden kehitystyötä.

FUKAMI & YAMAMOTO & HATANAKA & TERADA. CONFERENCE PROCEEDINGS 2006.

**A NEW DELAY FORECASTING SYSTEM FOR THE PASSENGER INFORMATION CONTROL SYSTEM (PIC) OF THE TOKAIDO-SANYO SHINKANSEN**

Fukami et al. (2006) esittelevät viiveiden ennakkointijärjestelmän, jonka avulla voidaan tehostaa matkustajainformaatiota. Ongelmana aiemmin on ollut viiveiden tunnistaminen pitkillä asemaväleillä. Toisena ongelmana on aiemmin ollut viiveisiin liittyvän tiedon hallinta, kun viiveet usein muuttuvat siihen asti, kunnes juna lähtee asemalta.

Näiden ongelmien ratkaisemiseksi artikkelin tekijät ehdottavat uutta järjestelmää, joka simuloi junien todellisia liikkeitä. Artikkelissa esiteltävää järjestelmää on käytetty heinäkuusta 2003 alkaen, ja se on pystynyt tarjoamaan tarkkaa informaatiota viiveistä ja sitä kautta parantanut merkittävästi palvelun laatua. Myös matkustajat odottavat saavansa täsmällistä tietoa, jos viiveitä esiintyy.

KROES & KOUWENHOVEN & DUCHÂTEAU & DEBRINCAT & GOLDBERG.  
JOURNAL ARTICLE 2007.

**VALUE OF PUNCTUALITY ON SUBURBAN TRAINS TO AND FROM PARIS**

Kroes et al. (2007) kuvaavat myöhästymisten kestosta tiedottamisen hyötyä konkreettisesti. Tutkimuksen perusteella tiedottamisella saavutettiin hyöty, jonka arvo vastaa matka-ajan lyhentymistä 10 minuutilla.

### **9.6.2 Yhteenveto ja johtopäätökset**

Viestintää ja asiakasinformaatiota käsitteleviä artikkeleja oli kaiken kaikkiaan hyvin vähän. Näiden artikkelien perusteella on vaikea tehdä johtopäätöksiä. Voidaan kuitenkin todeta, että asiaa olisi tarvetta tutkia enemmän. Kirjallisuuden perusteella on kuitenkin osoitettavissa, että tiedottamisella on selviä vaikutuksia niin matkustajille kuin tavaraliikenteen asiakkaillekin.

Tiedottaminen ja informaation lisääminen esimerkiksi asemilla ei paranna itse täsmällisyyttä, mutta voi vaikuttaa mielikuviin, joka täsmällisyydestä välittyy. Hyvä informaatio luo luotettavan mielikuvan ja parantaa palvelun laatua tätä kautta.

Muutamista lähteistä oli nähtävissä, että tieteellisen tutkimuksen vähäisestä määrästä riippumatta informatiojärjestelmiä kuitenkin kehitetään käytännössä. Voi kuitenkin olla, että informatiojärjestelmiä tarkastelevassa kirjallisuudessa ei ole paneuduttu täsmällisyyteen ja täsmällisyystietoon.



## 10 JOHTOPÄÄTÖKSET

Täsmällisyyden merkitys on korostunut viime vuosikymmeninä ihmisten liikkuvuuden, kulkumuotojen keskinäisen kilpailun, infrastruktuurin kapasiteetin täyttymisen ja markkinoiden avautumisen seurauksena. Täsmällisyyden tutkimus on myös lisääntynyt, mikä näkyy tässä kirjallisuuskatsauksessa uusien artikkelien runsaana määränä. Rautatieliikenteen täsmällisyyden tutkimuksella on merkitystä sekä tieteellistä että käytännöllisen kehitystyön näkökulmasta.

Yhteiskunnan muutos on vaikuttanut myös rautatieliikenteeseen ja tuonut uusia haasteita liikenteen järjestämiseen. Liikennemuotojen keskinäisen kilpailun ja asiakkaiden vaatimusten kasvun myötä rautateilläkin on kiinnitettävä erityistä huomiota palvelun laatuun ja erityisesti täsmällisyyteen. Asiakkaiden tarpeisiin vastaaminen ja täsmällisyyden asiakasnäkökulman huomioon ottaminen nousevat tulevaisuudessa entistä tärkeämmiksi.

### 10.1 Rautatieliikenteen täsmällisyyden tieteellinen tutkimus

Tämä kirjallisuuskatsaus tarkastelee täsmällisyydestä tieteellisestä näkökulmasta. Koska tavoitteena on ollut koota mahdollisimman kattava aineisto, kirjallisuushakuja on tehty useisiin tietokantoihin. Kirjallisuuskatsaukseen sisältyy 326 julkaisua, jotka käsittelevät täsmällisyyttä eri näkökulmista ja eri laajuudessa.

Rautatieliikenteen täsmällisyyden tieteellisessä tutkimuksessa esiin nousevat muutamat vahvat organisaatiot. Erityisesti Alankomaissa on rautateitä ja niiden täsmällisyyttä käsittelevää tutkimusta tehty paljon; keskeisimmät organisaatiot ovat kirjallisuuskatsauksen perusteella Delftin teknillinen yliopisto, Erasmus University Rotterdam sekä rautatieoperaattori NS ja rataverkon haltija ProRail.

Kirjallisuuskatsauksen perusteella alalla on joukko tutkijoita, jotka ovat tieteellisesti ansioituneet täsmällisyyttä käsittelevien artikkelien julkaisemisessa ja toimivat aktiivisesti alalla. Tällaisia tutkijoita ja vaikuttajia ovat muun muassa Ingo Hansen, Malachy Carey, Rob Goverde, Jianxin Yuan ja Leo Kroon. Edellä mainituista neljä on Alankomaista ja kolme Delftin teknillisestä yliopistosta. Alankomaalaisen tutkimuksen osuus kirjallisuuskatsauksessa on huomattava. Myös Britanniassa on kirjoitettu useita täsmällisyyttä käsitteleviä julkaisuja. Kiinnostavaa erityisesti suomalaisesta näkökulmasta on ruotsalainen tutkimus, sillä maiden toimintaympäristöissä on paljon yhtäläisyyksiä.

Kirjallisuuskatsauksen julkaisujen lukumäärä osoittaa, että rautatieliikenteen täsmällisyyttä käsittelevää tai sitä sivuavaa tutkimusta on tehty melko paljon, eikä aihe ole enää tieteellisesti uusi. Rautatieliikenteen näkökulmasta täsmällisyyttä on kirjallisuudessa usein tarkasteltu matemaattisista tai mallintamisen lähtökohdista ja rajatun osaongelman kautta. Laaja-alainen rautatie- ja liikennejärjestelmätason täsmällisyydestä tutkimus, kuten matka- ja kuljetusketjujen tarkastelu on kirjallisuudessa selvästi vähäisempää.

Tässä kirjallisuuskatsauksessa tarkastellut julkaisut luokiteltiin 27 teemaan niissä käsiteltävien aihealueiden perusteella. Käytetyimpiä tutkimusmenetelmiä ovat matemaattiset ja tilastolliset menetelmät, mallintaminen sekä simulointi. Monessa julkaisussa täsmällisyyttä on lähestytty myös aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelun näkökulmasta. Suurin osa tutkimuksesta painottui matkustajaliikenteen täsmällisyyteen tai tarkasteli asiaa yleisesti rautatieliikennöinnin näkökulmasta. Tavaraliikenteen tieteellistä täsmällisyystutkimusta on tehty vain vähän. Myös tutkimusta, jossa arvioidaan täsmällisyyden vaikutuksia rautatiejärjestelmän keskeisten osajärjestelmien välillä ja ulkopuolella, on vähän. Kuitenkin uusimmissa tutkimuksissa esitetään tarve määrittää täsmällisyyden vaikutukset myös matkustajille tai muille, joille rautatieliikenteen täsmällisyydellä ja sen tutkimuksella voi olla merkitystä.

Osa julkaisuista käsittelee täsmällisyyttä jostain sellaisesta näkökulmasta, jota ei ollut mukana luokittelussa suoraan omana teemanaan. Esimerkiksi asemia ja kunnossapitoa on käsitelty täsmällisyystutkimuksessa usein. Toisaalta omaksi teemakseen valittua informaatiojärjestelmät-aihepiiriä tarkastelevaa täsmällisyystutkimusta on vain vähän; samoin vain pieni osa tutkimuksesta käsittelee matka- ja kuljetusketjujen täsmällisyyttä. Nämä kuitenkin nähtiin täsmällisyyden kannalta tärkeiksi teemoiksi, vaikka tutkimusta ei näistä näkökulmista ole juuri tehty. Esimerkiksi matka- ja kuljetusketjunäkökulma on keskeinen, sillä siinä täsmällisyyttä lähestytään sekä asiakaslähtöisesti että ajan arvon ja kulkumuodon kilpailukyvyyn kannalta.

Täsmällisyyteen liittyvää terminologiaa ei kirjallisuudessa käytetä yhtenäisesti. Englannin kielessä täsmällisyyttä ja luotettavuutta samoin kuin erilaisia viiveitä kuvaavia termejä on useita. Termien merkitys myös vaihtelee jonkin verran eri julkaisuissa. Tästä johtuen kirjallisuuskatsauksessa on erikseen tarkasteltu keskeisiä käsitteitä ja termejä suomeksi ja englanniksi (luku 3).

Tässä tutkimuksessa on perehdytty huomattavaan joukkoon tieteellisiä artikkeleja ja muita julkaisuja. Merkittävimmät tulokset on esitetty raportissa lyhyinä yhteenvetoina teemoittain. Tutkimus toimii perustana tulevalle täsmällisyystutkimukselle, ei yksittäisenä kirjallisuusanalyysinä esitetyistä teemoista. Kukin luku kuvaa valitusta näkökulmasta tehtyä täsmällisyystutkimusta, ei siis koko teemasta tehtyä tutkimusta. Kyseessä ei siis ole esimerkiksi aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelun kirjallisuuskatsaus.

Kirjallisuuskatsauksen perusteella havaittiin muun muassa seuraavaa:

- Täsmällisyyden näkökulmasta rautatieliikenteessä on erilaisia asiakkaita.
- Myöhästymisten syitä on tutkittu melko monipuolisesti.
- Viiveiden ketjuuntumista on tutkittu paljon hyödyntäen matemaattisia menetelmiä, mallintamista ja simulointia.
- Täsmällisyyttä mitataan yhtäläisin, mutta puutteellisin menetelmin. Kirjallisuuden perusteella täsmällisyystiedon hyödyntäminen toiminnanohjauksessa on vähäistä.
- Ajan arvoa käsitellään matka-ajan aikasäästöjen kautta. On havaittu, että myöhästymisaika on arvokkaampaa kuin matka-aika.
- Rautatieliikenteen palvelu on aikatauluun sidottua, jolloin täsmällisyys on merkittävä rautatieliikenteen palvelun laadun osatekijä.
- Sitä, miten täsmällisyystietoa tulisi viestiä asiakkaalle, ei ole tutkittu.



- Päätöksenteon tukijärjestelmiä käsittelevissä artikkeleissa tarkastellaan menetelmiä, joilla häiriöitä ja niiden vaikutuksia pystyttäisiin analysoimaan ja ennustamaan. Tavoitteena on pystyä tekemään päätöksiä, joilla voidaan minimoida häiriötilanteiden kielteiset seuraukset.
- Liikenteenohjauksen ja reaaliaikaisten järjestelmien haasteena on usein uudelleenaikataulutus häiriötilanteissa. Keinoiksi järjestelmän kehittämiseksi esitetään erilaisia malleja, algoritmeja, simulaatiota ja ohjelmistoja.

## 10.2 Työn tieteellinen merkitys

Tämä kirjallisuuskatsaus hahmottaa ja jäsentää rautatieliikenteen tutkimuskenttää yleisesti ja kuvaa, mitä ja miten aihetta on tutkittu. Tutkimus osoittaa myös, mistä näkökulmista täsmällisyyttä on tutkittu vähemmän. Kirjallisuuskatsaus kuvaa tieteellisestä näkökulmasta täsmällisyystutkimuksen tilan ja olemassa olevan teoriapohjan, jota voidaan hyödyntää käytännön sovelluksissa.

Tehty kirjallisuuskatsaus antaa jatkotutkimukselle hyvän teoriapohjan ja auttaa asemoimaan jatkotutkimuksen siten, että voidaan luoda aidosti uutta tutkimusta. Täsmällisyyden tarkastelu uusista näkökulmista ja eri menetelmillä voi tuoda esiin myös sellaisia tuloksia, jotka eivät jo tehdyssä tutkimuksessa korostu. Tämä avaa myös uusia mahdollisuuksia tieteellisen lähestymistavan hyödyntämiseen entistä enemmän rautateiden, liikennejärjestelmän ja yhteiskunnan strategisessa kehittämisessä.

Kirjallisuuskatsauksen lisäksi tutkimus on myös bibliometrinen analyysi rautatieliikenteen täsmällisyydestä: se esittelee alan merkittävimmät tutkijat ja tutkimusorganisaatiot ja kuvaa niitä verkostoja, joissa alan tutkimusta tehdään, ja foorumeita, joissa tutkimustuloksia esitellään. Kirjallisuuskatsauksen yhteydessä tehty teemojen mukainen luokittelu ja esimerkiksi tekijöiden ja organisaatioiden analysointi vastaavat juuri edellä esitettyihin kysymyksiin.

Tämä raportti on suunnattu suomalaisille toimijoille. Se on kirjoitettu suomeksi, jotta alan toimijat voivat parhaiten hyödyntää sitä käytännön kehitystyössään. Kirjallisuuskatsauksessa käsitellään täsmällisyysteemaa laajasti ja kansainvälisesti, mistä johtuen työllä on myös kansainvälistä tieteellistä merkitystä. Siksi tutkimuksen tuloksia tullaan esittelemään myös tieteellisissä julkaisuissa ja konferensseissa.

## 10.3 Työn käytännöllinen merkitys

Kirjallisuuskatsaus kuvaa laaja-alaisesti rautatieliikenteen täsmällisyyden tieteellistä tutkimusta. Tätä tietoa rautatieoperaattorit, radanpitäjät ja muut alan toimijat voivat hyödyntää monipuolisesti. Tehty tutkimus antaa hyvän yleiskuvan rautatieliikenteen täsmällisyydestä ja sen kompleksisuudesta. Ennen kohdennettujen käytännön kehityshankkeiden toteuttamista on aina tarpeen ymmärtää, mihin kokonaisuuteen ja kokonaisjärjestelmään käsiteltävä asia liittyy.

Kirjallisuuskatsauksella on myös strateginen merkitys. Se osoittaa alan toimijoille merkittävimmät täsmällisyyteen liittyvät ongelma-alueet ja kehityskohteet. Kirjallisuuskatsaus myös ohjaa strategisen tason jatkotutkimusta. Erityisesti radanpitäjän ja rautatiejärjestelmän kehityksestä vastaavien tahojen tulisi olla kiinnostuneita täsmällisyyteen liittyvistä strategisista kehityssuunnista, joita voidaan hyödyntää toiminnan kehittämisessä ja ohjaamisessa.

Kirjallisuuskatsauksessa määritellään, mitä täsmällisyys tarkoittaa eri näkökulmista. Samalla se kuvaa, mitä tietotarpeita täsmällisyyteen liittyy eri näkökulmista: esimerkiksi liikenteenohjaus tarvitsee operatiivista tietoa, päätöksenteon tukijärjestelmät strategista tietoa. Tämän tiedon avulla voidaan määritellä, miten nykyistä täsmällisyyteen liittyvää tietotuotantoa tulisi kehittää, jotta se vastaisi erilaisiin tarpeisiin. Siten on myös mahdollista kehittää täsmällisyyttä eri näkökulmista ja asettaa eritasoisia tavoitteita.

Täsmällisyyden johtamista on tutkittu hyvin vähän. Tämä viittaa myös täsmällisyyden vähäiseen hyödyntämiseen johtamisessa. Kirjallisuuskatsaus toimii apuvälineenä myös täsmällisyysjohtamisessa: miten prosessit suunnitellaan niin, että viiveet minimoidaan.

Kirjallisuuskatsaus tarjoaa monia mahdollisuuksia alan toimijoille. Esitelyjen artikkelien avulla on mahdollista perehtyä niihin keinoihin ja mahdollisuuksiin, joilla toimijat voivat parantaa täsmällisyyttä. Kirjallisuuskatsaukseen sisältyy lukuisia menetelmiä ja toteutuneita projekteja, joiden avulla täsmällisyyttä on parannettu.

Täsmällisyyden laaja-alaisuus on hyvin havaittavissa kirjallisuuskatsauksessa. Tätä ymmärrystä voidaan hyödyntää esimerkiksi täsmällisyyden taloudellisten vaikutusten arvioinnissa.

#### 10.4 Työn arviointi

Työn tavoitteena on ollut selvittää rautatieliikenteen täsmällisyyteen liittyvää aihepiiriä laaja-alaisesti, kansainvälisesti ja tieteellisestä näkökulmasta. Tähän tavoitteeseen on päästy käyttämällä useita julkaisutietokantoja ja ottamalla mukaan eri tieteenalojen julkaisuja. Haut tehtiin useisiin kansainvälisiin tietokantoihin, jotka on esitelty luvussa 2. Kirjallisuuskatsaukseen valikoitui mukaan yli 300 julkaisua.

Aineiston kattavuus on pyritty varmistamaan tarkastelemalla myös keskeisiä julkaisuja, joihin kirjallisuuskatsauksen julkaisuissa viitataan. Monet näistä julkaisuista sisältyvät jo julkaisutietokannoista tehtyihin hakuihin. Havaittiin, että uusien aihetta käsittelevien julkaisujen määrä väheni kirjallisuushakujen edetessä, ja lopulta todettiin, että aineiston saturaatiopiste on saavutettu. Tätä tukee myös havainto, että alan tutkimusta tarkastelevassa artikkelissaan Vromans et al. (2006) viittaavat lähteisiin, jotka sisältyvät myös tähän kirjallisuuskatsaukseen.



Työn tarkoituksena on ollut myös syventyä täsmällisyyden taustalla oleviin teorioihin. Tätä varten julkaisut on luokiteltu 27 teemaan ja täsmällisyyttä käsittelevää tutkimusta on tarkasteltu näiden teemojen kautta. Siten on voitu muodostaa käsitys siitä, mistä näkökulmista täsmällisyyttä on tarkasteltu ja toisaalta mitä teemoja tulisi jatkossa enemmän. Teemojen kautta voidaan luoda käsitys täsmällisyystutkimuksen eri näkökulmista, mutta samalla teemat yhdessä muodostavat myös laaja-alaisen ja kattavan kuvan täsmällisyystutkimuksen profiilista. Edellä kuvatun perusteella voidaan arvioida, että työlle asetettuihin tavoitteisiin pystyttiin vastaamaan hyvin.

Kirjallisuuskatsausta arvioidessa tulee kiinnittää huomiota ainakin seuraaviin kysymyksiin (vrt. luku 2.1 Tutkimusmenetelmät):

1. **Kontribuutio:** Mitä uutta katsaus tuo alan tutkimukseen? Jäsentääkö se tutkimuskenttää, löytyikö sen avulla tutkimattomia teemoja tai nostiko se jopa esille uusia lainalaisuuksia tai teorioita?
2. **Vaikutukset:** Miten katsaus vaikuttaa alan tutkimukseen? Kuka tuloksia voi hyödyntää ja miten, ja kuinka todennäköistä on, että näin käy?
3. **Loogisuus:** Miksi katsaus on tehty niin kuin se on tehty? Onko esimerkiksi tutkimusmenetelmien valinta ja käyttö loogista ja perusteltua?
4. **Perusteellisuus:** Kuinka hyvin katsaus on tehty? Onko esimerkiksi aineisto valittu kattavasti ja onko tulokset arvioitu huolellisesti?

Tässä tutkimuksessa nämä kysymykset on otettu huomioon koko työn ajan. Tutkimus jäsentää täsmällisyystutkimusta ja tuo esille sekä tutkittuja että vähemmän tutkittuja teemoja. Kirjallisuuskatsaus toimii perustana alan jatkotutkimuksessa, ja sitä voidaan hyödyntää strategisessa kehittämisessä. Kirjallisuuskatsauksen tutkimusmenetelmiä on käytetty johdonmukaisesti, ja tutkimusprosessi on dokumentoitu.

Kirjallisuuskatsauksen toteuttamisen suurimpana haasteena on ollut materiaalin hallinta. Haetut julkaisut on luokiteltu niiden hallinnan ja analysoinnin helpottamiseksi. Luokittelu on auttanut tutkijoita myös jäsentämään täsmällisyystutkimuksen kenttää. Toisaalta luokittelu on saattanut vähentää jonkin tärkeän julkaisun arvoa, mikäli sen sijoittaminen valittuihin luokkiin on ollut haasteellista. Tämä ongelma on kuitenkin arvioitu vähäiseksi, sillä teemaluokat ovat laajoja ja osittain päällekkäisiä.

Teemojen määrittelyyn liittyvänä haasteena on ollut, että määrittely tuli tehdä alustavasti jo ennen kuin kaikki julkaisut oli analysoitu. Teemoja muokattiin tutkimuksen alkuvaiheessa, mutta jotkin teemat korostuivat niin loppuvaiheessa tutkimusta, etteivät ne ehtineet mukaan lopulliseen luokitteluun. Tällaisia teemoja arvioitiin olevan muutamia ja ne lähinnä tarkentavat valittuja teemoja. Esimerkkeinä aihepiireistä tai näkökulmista, joita ei luokiteltu omiksi teemoikseen, ovat esimerkiksi asemat, kunnossapito ja datan hyödyntäminen.

Luokittelussa käytetyt teemat eivät ole keskenään vertailukelpoisia laajuudeltaan tai sisällöltään. Teemat myös menevät osittain päällekkäin. Näin ollen teemojen välillä ei tule tehdä kvantitatiivista tarkastelua, vaan kutakin teemaa tulee tarkastella itsenäisenä kokonaisuutena. Toki suuntaa-antavaa vertailua on mahdollista tehdä erityisesti samaan ryhmään kuuluvien teemojen välillä.

Eri teemoja on käsitelty eri laajuisesti. Jotta tämä kirjallisuusselvitys tukisi myös täsmällisyyden tulevaa tutkimusta, katsauksessa on käsitelty kattavammin ne teemat, joihin tutkimusta on tavoitteena tulevaisuudessa kohdentaa.

Alan terminologian vakiintumattomuus on saattanut johtaa siihen, että kaikkia julkaisuja ei ole löydetty tietokantahakujen avulla. Vasta melko myöhäisessä vaiheessa havaittiin, että amerikanenglanniksi *punctuality*-termin rinnalla käytetään termejä *on-time performance* tai *schedule adherence*. Tutkimusmenetelmä on kuitenkin pienentänyt tämän puutteen vaikutuksia, sillä julkaisujen analyysin yhteydessä on tarkasteltu myös keskeiset lähdejulkaisut. Osin vaikutusta on pienentänyt myös se, että hakusanoina on käytetty täsmällisyyden lisäksi myös termejä viive (*delay*) ja luotettavuus (*reliability*).

### 10.5 Jatkotutkimus

Kirjallisuuskatsauksen perusteella on havaittavissa useita rautatieliikenteen täsmällisyyteen liittyviä näkökulmia, joista tutkimusta on toistaiseksi tehty vähän ja joihin tulisi jatkossa suunnata enemmän huomiota. Tämä kirjallisuuskatsaus mahdollistaa jatkotutkimuksen fokuksinnin täsmällisyyden kannalta strategisimpiin aiheisiin.

Yleisenä johtopäätöksenä ja kirjallisuusselvityksen sisältämän tiedon jalostamis- mahdollisuutena havaittiin olevan täsmällisyyteen liittyvien tietotarpeiden selvittämisen. Tähän kysymykseen kirjallisuuskatsaus antaa osittain vastauksen, sillä se kuvaa niitä näkökulmia, joista täsmällisyyttä on tarkasteltu. Samalla käy ilmi, mitä täsmällisyydestä tiedetään ja mitä siitä tulisi tietää. Tätä tieteelliseen tutkimukseen pohjautuvaa tietoa tulisi täydentää käytännön kehitystyöllä, jossa tarkastellaan toimijoiden täsmällisyyteen liittyviä käytännön tietotarpeita.

Uuden näkökulman täsmällisyyteen tarjoaisi täsmällisyystiedon analysointi ja viive- ja syytiedon yhdistäminen tietojärjestelmissä. Täsmällisyystiedon analysointiin voitaisiin käyttää tiedonlouhinnan menetelmiä ja saada esiin uudenlaisia syy-seuraussuhteita, joita ei järjestelmän kompleksisuuden ja datamassan suuruuden vuoksi muuten ole mahdollista tunnistaa. Tämän uuden tiedon hyödyntämismahdollisuudet tulisi sen jälkeen selvittää. Esimerkiksi täsmällisyysjohtamiseen tarvitaan kirjallisuuden perusteella apuvälineitä.

Kirjallisuuden perusteella havaitaan, että asiakasnäkökulma on voimistumassa täsmällisyyden kehitystyössä. Tätä ajatusta voitaisiin lähestyä myös laajemmin esimerkiksi matkaketjujen näkökulmasta. Nykyisin täsmällisyyttä on tarkasteltu ja tutkittu lähinnä junien näkökulmasta, tulevaisuudessa näkökulmana voisivat olla lisäksi matkaketjut. Tämä tarkoittaisi ajattelumallin siirtymistä junista matkustajiin ja heidän täsmällisyyteensä. Asiakkaiden huomioon ottamiseen liittyvät myös täsmällisyysviestintä ja viiveistä informointi. Kirjallisuuden perusteella täsmällisyystiedon hyödyntämiseen liittyen olisi tarpeen tehdä jatkotutkimusta.

Tuleva täsmällisyyteen liittyvä tutkimus on hyvä asemoida niin, että tutkimuksella voidaan täydentää tämän kirjallisuusselvityksen osoittamia teemoja. Tutkimuksella tulee olla paitsi tieteellistä arvoa, sitä tulee myös voida hyödyntää käytännön kehitystyössä.



## LÄHTEET

- Abrahamsson, Lars & Söder, Lennart H. 2008. Operation simulation of traction systems. [Abstract]. 11th International Conference on Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems, COMPRAIL 2008, WIT Transactions on the Built Environment, Vol. 103, p. 283-292. Toledo: WITPress. ISSN 1743-3509.
- Albrecht, Thomas & Brünger, Olaf & Dahlhaus, Elias & Goverde, Rob M. P. & Hansen, Ingo A. & Huisman, Dennis & Jacobs, Jürgen & Kroon, Leo G. & Maróti, Gábor & Martin, Ullrich & Pahl, Jörn & Radtke, Alfons & Siefert, Thomas & Wendler, Ekkehard & Yuan, Jianxin. 2008. Railway timetable & traffic: analysis, modelling, simulation. Hamburg: Eurailpress (DVV Rail Media). 228 p. ISBN 978-3-7771-0371-6.
- Albrecht, Thomas & Van Luipen, Jelle & Hansen, Ingo A. & Weeda, Vincent Adeodat. 2007. Bessere Echtzeitinformationen für Triebfahrzeugführer und Fahrdienstleiter [Improved real-time information for drivers and controllers]. [Abstract]. Eisenbahningenieur, Vol. 58, Issue 6, p. 73-79. ISSN 0013-2810.
- Alston, L. L. & Davies, D. E. N. 1970. Cybernetic operation of railway traffic. [Abstract]. Rail International, Vol. 1, Issue 9, p. 618-621. ISSN 0020-8442.
- Anderegg, Luzi & Penna, Paolo & Widmayer, Peter. 2002. Online train disposition: To wait or not to wait? ATMOS 2002, Algorithmic Methods and Models for Optimization of Railways (ICALP 2002 Satellite Workshop), Electronic Notes in Theoretical Computer Science, Vol. 66, Issue 6, p. 35-44. Malaga: Elsevier. ISSN 1571-0661.
- Andreassen, Tor Wallin. 1995. (Dis)satisfaction with public services: the case of public transportation. Journal of Services Marketing, Vol. 9, Issue 5, p. 30-41. ISSN 0887-6045.
- Anon. 2007. Algorithmic methods for railway optimization – International Dagstuhl workshop 2004. [Abstract]. 4th International Workshop on Algorithmic Methods and Models for Optimization of Railways, ATMOS 2004, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4359 NCS, p. 333. Heidelberg: Springer Verlag. ISSN 0302-9743.
- Bachman, John A. 1989. HSR vehicle performance characteristics. [Abstract]. Journal of Transportation Engineering, Vol. 115, Issue 1, p. 48-56. ISSN 0733-947X.
- Badcock, Peter. 2006. More trains on TIME more often. [Abstract]. Railway Gazette International, Vol. 162, Issue 12, p. 793-794. ISSN 0373-5346.
- Bandara, J. M. S. J. & Ekanayake, I. A. B. 2003. Train scheduling simulation that minimises operational conflicts due to service constraints. [Abstract]. Journal of Advanced Transportation, Vol. 37, Issue 2, p. 211-230. ISSN 0197-6729.
- Barter, W. M. 2004. Forecasting robustness of timetables. [Abstract]. Computers in Railways IX, p. 563-572. Billerica: WIT Press (Computational Mechanics Inc). ISBN 1853127159.

- Bates, John & Polak, John W. & Jones, Peter & Cook, Andrew. 2001. The valuation of reliability for personal travel. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 37, Issue 2-3, p. 191-229. ISSN 1366-5545.
- Bhat, Chandra R. & Sardesai, Rupali. 2006. The impact of stop-making and travel time reliability on commute mode choice. *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 40, Issue 9, November 2006, p. 709-730. ISSN 0191-2615.
- Bluvband, Zigmund & Barel, Alex & Zule, Michael. 1997. IQLM: application for rail systems. 1997 Proceedings, Annual Reliability and Maintainability Symposium, p. 333-338.
- Briggs, Keith & Beck, Christian. 2007. Modelling train delays with q-exponential functions. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 378, Issue 2, May 2007, p. 498-504. ISSN 0378-4371.
- Brons, Martijn & Givoni, Moshe & Rietveld, Piet. 2009. Access to railway stations and its potential in increasing rail use. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 43, Issue 2, February 2009, p. 136-149. ISSN 0965-8564.
- Caprara, Alberto & Kroon, Leo G. & Monaci, Michele & Peeters, Marc & Toth, Paolo. 2007. Chapter 3 Passenger railway optimization. In book: *Handbooks in Operations Research and Management Science*, p. 129-187. Elsevier. ISSN 0927-0507.
- Carey, Malachy. 1994. Reliability of interconnected scheduled services. [Abstract]. *European Journal of Operational Research*, Vol. 79, Issue 1, November 1994, p. 51-72. ISSN 0377-2217.
- Carey, Malachy. 1998. Optimizing scheduled times, allowing for behavioural response. *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 32, Issue 5, June 1998, p. 329-342. ISSN 0191-2615.
- Carey, Malachy. 1999. Ex ante heuristic measures of schedule reliability. *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 33, Issue 7, p. 473-494. ISSN 0191-2615.
- Carey, Malachy & Carville, Sinead. 2000. Testing schedule performance and reliability for train stations. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 51, Issue 6, p. 666-682. ISSN 0160-5682.
- Carey, Malachy & Carville, Sinead. 2003. Scheduling and platforming trains at busy complex stations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 37, Issue 3, March 2003, p. 195-224. ISSN 0965-8564.
- Carey, Malachy & Kwiecinski, Andrzej. 1994a. Stochastic approximation to the effects of headways on knock-on delays of trains. [Abstract]. *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 28, Issue 4, August 1994, p. 251-267. ISSN 0191-2615.
- Carey, Malachy & Kwiecinski, Andrzej. 1994b. Swapping the order of scheduled services to minimize expected costs of delays. [Abstract]. *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 28, Issue 6, p. 409-428. ISSN 0191-2615.



- Carey, Malachy & Kwiecinski, Andrzej. 1995. Properties of expected costs and performance measures in stochastic models of scheduled transport. *European Journal of Operational Research*, Vol. 83, Issue 1, May 1995, p. 182-199. ISSN 0377-2217.
- Casson, Mark. 2004. The future of the UK railway system: Michael Brooke's vision. *International Business Review*, Vol. 13, Issue 2, April 2004, p. 181-214. ISSN 0969-5931.
- Cavana, Robert Y. & Corbett, Lawrence M. & Lo, Y. L. (Glenda). 2007. Developing zones of tolerance for managing passenger rail service quality. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 24, Issue 1, p. 7-31. ISSN 0265-671X.
- Chakroborty, Partha & Vikram, Durgesh. 2008. Optimum assignment of trains to platforms under partial schedule compliance. *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 42, Issue 2, p. 169-184. ISSN 0191-2615.
- Chandesris, M. 2006. Statistical method for the evaluation of railway systems modifications. [Abstract]. 10th International Conference on Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems, COMPRAIL 2006, WIT Transactions on The Built Environment, Vol. 88, p. 97-104. Prague: WITPress. ISSN 1743-3509; ISBN 1845641779.
- Chang, S. K. Jason & Hsu, C. L. 2001. Modeling passenger waiting time for intermodal transit stations. [Abstract]. *Transportation Research Record*, Issue 1753, p. 69-75. ISSN 0361-1981; ISBN 0-309-07214-X.
- Chang, S. K. Jason & Hsu, Spring C. 2003. Modeling of passenger waiting time in intermodal station with constrained capacity on intercity transit. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 5, October 2003, p. 9-22.
- Chen, Bintong & Harker, Patrick T. 1990. Two moments estimation of the delay on single-track rail lines with scheduled traffic. [Abstract]. *Transportation Science*, Vol. 24, Issue 4, p. 261-275. ISSN 0041-1655.
- Cheng, Yung-Hsiang & Yang, Li-An. 2009. A fuzzy Petri nets approach for railway traffic control in case of abnormality: Evidence from Taiwan railway system. *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, Issue 4, p. 8040-8048. ISSN 0957-4174.
- Cicerone, Serafino & D'Angelo, Gianlorenzo & Di Stefano, Gabriele & Frigioni, Daniele & Navarra, Alfredo. 2008. Delay management problem: Complexity results and robust algorithms. 2nd International Conference on Combinatorial Optimization and Applications, COCOA 2008, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 5165 NCS, p. 458-468. Heidelberg: Springer Verlag. ISSN 0302-9743.
- Claesson, A. & Dahl, Goran & Lindh, Christer. 1989. Value of reliability in passenger train operations. [Abstract]. *Rail International*, Vol. 20, Issue 1, p. 103-111. ISSN 0020-8442.
- Cole, Bart & Cooper, Christine. 2005. Making the trains run on time: The tyranny of performance indicators. [Abstract]. *Production Planning and Control*, Vol. 16, Issue 2, p. 199-207. ISSN 0953-7287.

- Csikos, Daniel & Currie, Graham. 2008. Investigating consistency in transit passenger arrivals – Insights from longitudinal automated fare collection data. [Abstract]. *Transportation Research Record*, Issue 2042, p. 12-19. ISSN 0361-1981.
- Cuevas, Francisco Payan & Vega, Tomás Vega & Puschmann, Rainer. 2008. Overhead contact line maintenance for the Madrid-Lérida high-speed line. [Abstract]. *eb - Elektrische Bahnen*, Vol. 106, Issue 5, p. 211-221. ISSN 0013-5437.
- D'Ariano, Andrea. 2008. Improving real-time train dispatching: models, algorithms and applications. Dissertation. Delft: Delft University of Technology. 240 p. TRAIL Thesis Series T2008/6. ISBN 978-90-5584-100-4.
- D'Ariano, Andrea & Albrecht, Thomas. 2006. Running time re-optimization during real-time timetable perturbations. [Abstract]. 10th International Conference on Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems, COMPRAIL 2006, WIT Transactions on The Built Environment, Vol. 88, p. 531-540. Prague: WITPress. ISSN 1743-3509; ISBN 1845641779.
- D'Ariano, Andrea & Corman, Francesco & Pacciarelli, Dario & Pranzo, Marco. 2008a. Reordering and local rerouting strategies to manage train traffic in real time. [Abstract]. *Transportation Science*, Vol. 42, Issue 4, November 2008, p. 405-419. ISSN 0041-1655.
- D'Ariano, Andrea & Pacciarelli, Dario & Pranzo, Marco. 2008b. Assessment of flexible timetables in real-time traffic management of a railway bottleneck. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 16, Issue 2, p. 232-245. ISSN 0968-090X.
- D'Ariano, Andrea & Pranzo, Marco. 2009. An advanced real-time train dispatching system for minimizing the propagation of delays in a dispatching area under severe disturbances. *Networks and Spatial Economics*, Vol. 9, Issue 1, p. 63-84. ISSN 1566-113X.
- D'Ariano, Andrea & Pranzo, Marco & Hansen, Ingo A. 2007. Conflict resolution and train speed coordination for solving real-time timetable perturbations. [Abstract]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 8, Issue 2, June 2007, p. 208-222. ISSN 1524-9050.
- Daamen, Winnie & Goverde, Rob M. P. & Hansen, Ingo A. 2009. Non-discriminatory automatic registration of knock-on train delays. *Networks and Spatial Economics*, Vol. 9, Issue 1, p. 47-61. ISSN 1566-113X.
- Daamen, Winnie & Houben, A. F. H. (Toine) & Goverde, Rob M. P. & Hansen, Ingo A. & Weeda, Vincent Adeodat. 2008. Monitoring system for reliability of rail transport chains. 8 p.
- Danielis, Romeo & Marcucci, Edoardo. 2007. Attribute cut-offs in freight service selection. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 43, Issue 5, September 2007, p. 506-515. ISSN 1366-5545.



- De Bruijn, Hans & De Bruijne, Mark & Steenhuisen, Bauke. 2007. Managing infrastructure vulnerability. 2007 International Symposium on Technology and Society, ISTAS, Proceedings, p. 4362235. Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- De Fabris, S. & Longo, G. & Medeossi, Giorgio. 2008. Automated analysis of train event recorder data to improve micro-simulation models. [Abstract]. 11th International Conference on Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems, COMPRAIL 2008, WIT Transactions on The Built Environment, Vol. 103, p. 575-583. Southampton: WITPress. ISSN 1743-3509.
- de Kort, A. F. & Heidergott, Bernd & Ayhan, Hayriye. 2003. A probabilistic (max, +) approach for determining railway infrastructure capacity. *European Journal of Operational Research*, Vol. 148, Issue 3, August 2003, p. 644-661. ISSN 0377-2217.
- De Schutter, Bart & van den Boom, Ton & Hegyi, Andreas. 2002. Model predictive control approach for recovery from delays in railway systems. [Abstract]. *Transportation Research Record*, Issue 1793, p. 15-20. ISSN 0361-1981.
- Debrincat, Laurence & Goldberg, Jonathan & Duchâteau, Hugues & Kroes, Eric & Kouwenhoven, Marco. 2007. Regularity of trains in Ile de France: What does it mean to users? [Abstract]. *Public Transport International*, Vol. 56, Issue 2, p. 21-23. ISSN 1016-796X.
- Dejax, Pierre & Bookbinder, James H. 1991. Goods transportation by the French National Railway (SNCF): The measurement and marketing of reliability. [Abstract]. *Transportation Research Part A: General*, Vol. 25, Issue 4, July 1991, p. 219-225. ISSN 0191-2607.
- Delorme, Xavier & Gandibleux, Xavier & Rodriguez, Joaquín. 2009. Stability evaluation of a railway timetable at station level. *European Journal of Operational Research*, Vol. 195, Issue 3, June 2009, p. 780-790. ISSN 0377-2217.
- Demitz, J. & Hübschen, C. & Albrecht, C. 2004. Timetable stability - Using simulation to ensure quality in a regular interval timetable. [Abstract]. Ninth International Conference on Computers in Railways, COMPRAIL IX, *Advances in Transport*, Vol. 15, p. 549-562. Dresden: WITPress. ISSN 1462-608X.
- Ding, Yuqing & Chien, Steven I. J. Y. 2001. Improving transit service quality and headway regularity with real-time control. [Abstract]. *Transportation Research Record*, Issue 1760, p. 161-170. ISSN 0361-1981.
- Disney, John. 1998. Competing through quality in transport services. *Managing Service Quality*, Vol. 8, Issue 2, p. 112-120. ISSN 0960-4529.
- Dure, Davis. 1999. Maximizing operating reliability in design of long single-track light rail transit lines. [Abstract]. *Transportation Research Record*, Issue 1677, p. 73-78. ISSN 0361-1981.

- Elms, C. P. 1998. Defining and measuring service availability for complex transportation networks. [Abstract]. *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 32, Issue 1, Spring 1998, p. 75-88. ISSN 0197-6729.
- Engelhardt-Funke, O. & Kolonko, M. 2004. Analysing stability and investments in railway networks using advanced evolutionary algorithms. [Abstract]. *International Transactions in Operational Research*, Vol. 11, Issue 4, July 2004, p. 381. ISSN 0969-6016.
- Erasmus University Rotterdam. 2009a. Erasmus Center for Optimization in Public Transport (ECOPT). Saatavissa: [http://www.eur.nl/ese/english/about\\_ese/departement\\_of\\_econometrics/ecopt/](http://www.eur.nl/ese/english/about_ese/departement_of_econometrics/ecopt/) Viitattu 28.8.2009.
- Erasmus University Rotterdam. 2009b. Erasmus Research Institute of Management (ERIM). Dennis Huisman. Saatavissa: [http://www.erim.eur.nl/ERIM/People/Person\\_Details?p\\_aff\\_id=973](http://www.erim.eur.nl/ERIM/People/Person_Details?p_aff_id=973) Viitattu 28.8.2009.
- Erasmus University Rotterdam. 2009c. Erasmus Research Institute of Management (ERIM). Rommert Dekker. Saatavissa: [http://www.erim.eur.nl/ERIM/People/Person\\_Details?p\\_aff\\_id=77](http://www.erim.eur.nl/ERIM/People/Person_Details?p_aff_id=77) Viitattu 28.8.2009.
- Evans, Andrew W. & Morrison, Alan D. 1997. Incorporating accident risk and disruption in economic models of public transport. [Abstract]. *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 31, Issue 2, May 1997, p. 117. ISSN 0022-5258.
- Falagas, Matthew E. & Kouranos, Vasilios D. & Arencibia-Jorge, Ricardo & Karageorgopoulos, Drosos E. 2008. Comparison of SCImago journal rank indicator with journal impact factor. *FASEB Journal*, Vol. 22, Issue 8, p. 2623-2628. ISSN 0892-6638.
- Fararooy, S. 2001. Reducing delays at London underground junctions and termini. [Abstract]. *People in Control, International Conference on Human Interfaces in Control Rooms, Cockpits and Command Centres*, Issue 481, p. 110-114. Manchester: Institution of Engineering and Technology. ISSN 0537-9989.
- Fay, Alexander. 2000. A fuzzy knowledge-based system for railway traffic control. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 13, Issue 6, December 2000, p. 719-729. ISSN 0952-1976.
- Fearnley, Nils & Bekken, Jon-Terje & Norheim, Bard. 2004. Optimal performance-based subsidies in Norwegian intercity rail transport. *International Journal of Transport Management*, Vol. 2, Issue 1, p. 29-38. ISSN 1471-4051.
- Ferreira, Luis A. 1997a. Planning Australian freight rail operations: An overview. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 31, Issue 4, July 1997, p. 335-348. ISSN 0965-8564.
- Ferreira, Luis A. 1997b. Rail track infrastructure ownership: investment and operational issues. *Transportation*, Vol. 24, Issue 2, p. 183-200. ISSN 0049-4488.



- Ferreira, Luis A. & Higgins, Andrew J. 1998. Scheduling rail track maintenance. [Abstract]. Proceedings of the 1998 Conference on Traffic and Transportation Studies, ICTTS, p. 820-829. Beijing: ASCE.
- Fiedler, Joachim. 2005. Verlässlichkeit als Konkurrenzkriterium [Reliability as a competitiveness criterion]. [Abstract]. Eisenbahningenieur, Vol. 56, Issue 12, p. 40-46. ISSN 0013-2810.
- Fioole, Pieter-Jan & Kroon, Leo G. & Maróti, Gábor & Schrijver, Alexander. 2006. A rolling stock circulation model for combining and splitting of passenger trains. European Journal of Operational Research, Vol. 174, Issue 2, October 2006, p. 1281-1297. ISSN 0377-2217.
- Flamini, Marta & Pacciarelli, Dario. 2008. Real time management of a metro rail terminus. European Journal of Operational Research, Vol. 189, Issue 3, September 2008, p. 746-761. ISSN 0377-2217.
- Fotea, Sergiu. 1976. Determination of the number of reception sidings, having regard to the probability of delays to trains. [Abstract]. Rail International, Vol. 7, Issue 7, p. 402-410. ISSN 0020-8442.
- Francis-Smythe, Jan & Robertson, Ivan. 1999. Time-related individual differences. [Abstract]. Time & Society, Vol. 8, Issue 2, September 1999, p. 273-292. ISSN 0961-463X.
- Fukami, K. & Yamamoto, H. & Hatanaka, T. & Terada, T. 2006. A new delay forecasting system for the Passenger Information Control system (PIC) of the Tokaido-Sanyo Shinkansen. [Abstract]. 10th International Conference on Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems, COMPRAIL 2006, CR06, WIT Transactions on The Built Environment, Vol. 88, p. 199-203. Southampton: WITPress. ISSN 1743-3509.
- Galetzka, Mirjam & Gelders, Dave & Verckens, Jan Pieter & Seydel, Erwin. 2008. Transparency and performance communication: a case study of Dutch Railways. Corporate Communications: An International Journal, Vol. 13, Issue 4, p. 433-447. ISSN 1356-3289.
- Gatto, Michael & Glaus, B. & Jacob, Riko & Peeters, Leon & Widmayer, Peter. 2004. Railway delay management: Exploring its algorithmic complexity. [Abstract]. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3111, p. 199-211. ISSN 0302-9743; ISBN 3-540-22339-8.
- Gatto, Michael & Jacob, Riko & Peeters, Leon & Widmayer, Peter. 2007. Online delay management on a single train line. 4th International Workshop on Algorithmic Methods and Models for Optimization of Railways, ATMOS 2004, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4359 NCS, p. 306-320. Heidelberg: Springer Verlag. ISSN 0302-9743.
- Gauderon, Philippe & Kuonen, Denise. 2006. Erhöhung der Pünktlichkeit durch bessere Instandhaltung des rollenden Materials [Improving punctuality of services through better maintenance]. [Abstract]. ZEVrail - Glasers Annalen, Vol. 130, Issue 10, p. 436-445. ISSN 1618-8330.

- Gelders, Dave & Galetzka, Mirjam & Verckens, Jan Pieter & Seydel, Erwin. 2008. Showing results? An analysis of the perceptions of internal and external stakeholders of the public performance communication by the Belgian and Dutch Railways. *Government Information Quarterly*, Vol. 25, Issue 2, April 2008, p. 221-238. ISSN 0740-624X.
- Giannopoulos, G. A. 1985. Travel time and delay factors on Greek railways: an analysis of the existing situation and proposals for short-term improvements. [Abstract]. *Rail International*, Vol. 16, Issue 9, p. 27-33. ISSN 0020-8442.
- Gibson, Stephen. 2005. Incentivising operational performance on the UK rail infrastructure since 1996. *Utilities Policy*, Vol. 13, Issue 3, September 2005, p. 222-229. ISSN 0957-1787.
- Gibson, Stephen & Cooper, G. & Ball, B. 2002. Developments in transport policy: The evolution of capacity charges on the UK rail network. *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 36, Issue 2, p. 341-354. ISSN 0022-5258.
- Ginkel, Andreas & Schöbel, Anita. 2007. To wait or not to wait? The bicriteria delay management problem in public transportation. [Abstract]. *Transportation Science*, Vol. 41, Issue 4, November 2007, p. 527-538. ISSN 0041-1655.
- Glaser, Barney G. 1978. *Theoretical sensitivity: advances in the methodology of grounded theory*. Mill Valley: Sociology Press. 164 p.
- Glaser, Barney G. & Strauss, Anselm L. 1967. *The discovery of grounded theory: strategies for qualitative research*. New York: Aldine. 271 p.
- Goodman, Colin J. & Murata, S. 2001. Metro traffic regulation from the passenger perspective. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, Vol. 215, Issue 2, p. 137-147. ISSN 0954-4097.
- Gorman, Michael F. 2009. Statistical estimation of railroad congestion delay. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 45, Issue 3, p. 446-456. ISSN 1366-5545.
- Gouweloos, Rien & Bartholomeus, Maarten. 2007. An estimate of the punctuality benefits of automatic operational train sequencing. 4th International Workshop on Algorithmic Methods and Models for Optimization of Railways, ATMOS 2004, *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 4359 NCS, p. 295-305. Heidelberg: Springer Verlag. ISSN 0302-9743.
- Goverde, Rob M. P. 2005. Punctuality of railway operations and timetable stability analysis. Dissertation. Delft: Delft University of Technology. 305 p. TRAIL Thesis Series T2005/10. ISBN 90-5584-068-8.
- Goverde, Rob M. P. 2007. Railway timetable stability analysis using max-plus system theory. *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 41, Issue 2, February 2007, p. 179-201. ISSN 0191-2615.



- Goverde, Rob M. P. & Daamen, Winnie & Hansen, Ingo A. 2008. Automatic identification of route conflict occurrences and their consequences. [Abstract]. 11th International Conference on Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems, COMPRAIL 2008, WIT Transactions on The Built Environment, Vol. 103, p. 473-482. Southampton: WITPress. ISSN 1743-3509.
- Granström, R. 2008. A system and stakeholder approach for the identification of condition information: A case study for the Swedish railway. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, Vol. 222, Issue 4, p. 399-412. ISSN 0954-4097.
- Greenberg, Betsy S. & Leachman, Robert C. & Wolff, Ronald W. 1988. Predicting dispatching delays on a low speed, single track railroad. [Abstract]. Transportation Science, Vol. 22, Issue 1, p. 31-38. ISSN 0041-1655.
- Guarnieri, Gino. 1980. L'esercizio ferroviario: il servizio viaggiatori, con particolare riferimento ai problemi del nodo di Milano [Railway operation: The passenger service with particular reference to the problems of the railway center of Milan]. [Abstract]. Ingegneria Ferroviaria, Vol. 35, Issue 11, p. 860-868. ISSN 0020-0956.
- Hallowell, Susan F. & Harker, Patrick T. 1998. Predicting on-time performance in scheduled railroad operations: methodology and application to train scheduling. Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 32, Issue 4, May 1998, p. 279-295. ISSN 0965-8564.
- Hansen, Ingo A. 2000. Station capacity and stability of train operations. [Abstract]. Seventh International Conference on Computers in Railway, COMPRAIL 2000, Vol. 7, p. 809-816. Bologna: WITPress. ISSN 1462-608X.
- Hansen, Ingo A. 2001. Improving railway punctuality by automatic piloting. 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems Proceedings, p. 792-797.
- Hansen, Ingo A. 2004. Increase of capacity through optimised timetabling. [Abstract]. Computers in Railways IX, p. 529-538. Billerica: WIT Press (Computational Mechanics Inc). ISBN 1853127159.
- Hansen, Ingo A. 2006. State-of-the-art of railway operations research. [Abstract]. 10th International Conference on Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems, COMPRAIL 2006, WIT Transactions on The Built Environment, Vol. 88, p. 565-577. Southampton: WITPress. ISSN 1743-3509.
- Hansen, Ingo A. & Yuan, Jianxin. 2006. Stochastic modeling of delay propagation at railway stations and junctions. [Abstract]. 5th International Conference on Traffic and Transportation Studies, ICTTS, p. 887-898. Reston: American Society of Civil Engineers.
- Harboe-Ree, Cathrine. 2005. Bibliometrics information kit. Saatavissa: [www.caul.edu.au/stats/caul20052bibliometrics.doc](http://www.caul.edu.au/stats/caul20052bibliometrics.doc)

- Hasegawa, Yutaka & Konya, Hideaki & Shinohara, Sengi. 1981. Macro-model on propagation-disappearance process of train delays. [Abstract]. Quarterly Report of RTRI (Railway Technical Research Institute), Vol. 22, Issue 2, p. 78-82. ISSN 0033-9008.
- He, Shiwei & Song, Rui & Chaudhry, Sohail S. 2003. An integrated dispatching model for rail yards operations. Computers & Operations Research, Vol. 30, Issue 7, June 2003, p. 939-966. ISSN 0305-0548.
- Heidergott, Bernd & Vries, R. D. 2001. Towards a (max,+) control theory for public transportation networks. Discrete Event Dynamic Systems: Theory and Applications, Vol. 11, Issue 4, p. 371-398. ISSN 0924-6703.
- Heimann, David I. 1979. Determination of transit system dependability. [Abstract]. Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium, p. 314-322. Washington, DC: IEEE. ISSN 0149-144X.
- Higgins, Andrew J. & Kozan, Erhan. 1998. Modeling train delays in urban networks. [Abstract]. Transportation Science, Vol. 32, Issue 4, p. 346-357. ISSN 0041-1655.
- Higgins, Andrew J. & Kozan, Erhan & Ferreira, Luis A. 1995. Modelling delay risks associated with train schedules. [Abstract]. Transportation Planning and Technology, Vol. 19, Issue 2, p. 89-108. ISSN 0308-1060.
- Higgins, Andrew J. & Kozan, Erhan & Ferreira, Luis A. 1997. Modelling the number and location of sidings on a single line railway. Computers & Operations Research, Vol. 24, Issue 3, March 1997, p. 209-220. ISSN 0305-0548.
- Hiraguri, Shigeto & Hirao, Yuji & Watanabe, Ikuo & Tomii, Norio & Hase, Shinichi. 2004. Advanced train and traffic control based on prediction of train movement. JSME International Journal, Series C: Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing, Vol. 47, Issue 2, p. 523-528. ISSN 1344-7653.
- Hirai, Chikara & Tomii, Norio. 1998. Evaluation of train interval adjustment algorithms for congested metropolitan railway lines. [Abstract]. Quarterly Report of RTRI (Railway Technical Research Institute), Vol. 39, Issue 4, p. 191-197. ISSN 0033-9008.
- Hirsch, J. E. 2005. An index to quantify an individual's scientific research output. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Vol. 102, Issue 46, p. 16569-16572. ISSN 0027-8424.
- Ho, T. K. & Norton, J. P. & Goodman, Colin J. 1997. Optimal traffic control at railway junctions. IEE Proceedings Electric Power Applications, Vol. 144, Issue 2, p. 140-148. ISSN 1350-2352.
- Ho, T. K. & Yeung, T. H. 2001. Railway junction traffic control by heuristic methods. IEE Proceedings Electric Power Applications, Vol. 148, Issue 1, p. 77-84. ISSN 1350-2352.



- Hooghiemstra, Jurjen S. & Teunisse, Maurice J. G. 1998. Use of simulation in the planning of the Dutch railway services. [Abstract]. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, WSC, Part 2, Vol. 2, p. 1139-1145. Piscataway: IEEE. ISSN 0275-0708.
- Houben, A. F. H. (Toine) & Rietveld, Piet & van Hagen, M. & Daamen, Winnie & Moltzer, F. W. 2006. Importance of reliability for transportation chains. Subjective versus objective reliability: chances for incentives? Delft: Delft University of Technology. 23 p.
- Huisman, Dennis & Kroon, Leo G. & Lentink, R. M. & Vromans, Michiel J. C. M. 2005. Operations research in passenger railway transportation. [Abstract]. *Statistica Neerlandica*, Vol. 59, Issue 4, November 2005, p. 467-497. ISSN 0039-0402.
- Huisman, Tijs & Boucherie, Richard J. 2001. Running times on railway sections with heterogeneous train traffic. *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 35, Issue 3, March 2001, p. 271-292. ISSN 0191-2615.
- Huisman, Tijs & Boucherie, Richard J. & Van Dijk, N. M. 2002. A solvable queueing network model for railway networks and its validation and applications for the Netherlands. *European Journal of Operational Research*, Vol. 142, Issue 1, p. 30-51. ISSN 0377-2217.
- Ieda, Hitoshi & Kanayama, Yoichi & Ota, Masafumi & Yamazaki, Takashi & Okamura, Toshiyuki. 2001. How can the quality of rail services in Tokyo be further improved? *Transport Policy*, Vol. 8, Issue 2, April 2001, p. 97-106. ISSN 0967-070X.
- Jacobs, Jürgen. 2004. Reducing delays by means of computer-aided 'on-the-spot' rescheduling. [Abstract]. Ninth International Conference on Computers in Railways, COMPRAIL IX, Vol. 15, p. 603-612. Dresden: WITPress. ISSN 1462-608X.
- Jia, Wenzheng & Chen, Shaokuan & Ho, Tinkin & Mao, Baohua & Bai, Yun. 2008. A heuristic algorithm for fixed train runtime. [Abstract]. *International Conference on Railway Engineering - Challenges for Railway Transportation in Information Age*, 2008, ICRE 2008, IET Seminar Digest, Vol. 2008, Issue 1, p. 230-236. ISSN 0537-9989.
- Jiang, Zhibin & Xu, Ruihua & Xie, Chao. 2007. Train delay propagation simulation in rail transit system. [Abstract]. *International Conference on Transportation Engineering 2007, ICTE 2007*, p. 789-794. Reston: American Society of Civil Engineers.
- Jochim, Haldor E. 2000. Verkehrswirtschaftliche Ermittlung von Qualitätsmaßstäben im Eisenbahnbetrieb [Economic determination of quality benchmarks in railway operations]. [Abstract]. *Eisenbahningenieur*, Vol. 51, Issue 7, p. 5-8. ISSN 0013-2810.
- Johnson, Lester W. & Nelson, C. J. 1991. Market response to changes in attributes of a long-distance passenger rail service. [Abstract]. *Managerial and Decision Economics*, Vol. 12, Issue 1, February 1991, p. 43. ISSN 0143-6570.

- Jovanovic, Dejan Nenad. 1989. Improving railroad on-time performance: Models, algorithms and applications. Dissertation. [Abstract]. Philadelphia: University of Pennsylvania. 162 p.
- Kaas, A. H. 2000. Punctuality model for railways. [Abstract]. Seventh International Conference on Computers in Railway, COMPRAIL 2000, Vol. 7, p. 853-860. Southampton: WIT Press. ISSN 1462-608X.
- Kauppi, Arvid & Wikström, Johan & Sandblad, Bengt & Andersson, Arne W. 2006. Future train traffic control: control by re-planning. *Cognition, Technology & Work*, Vol. 8, Issue 1, April 2006, p. 50-56.
- Kawakami, Takashi. 1997. Future framework for Maglev train traffic control system utilizing autonomous decentralized architecture. [Abstract]. Proceedings of the 1997 3rd International Symposium on Autonomous Decentralized Systems, ISADS'97, p. 327-333. Berlin: IEEE.
- Kikuchi, Isao. 1983. Snow countermeasures of the Tohoku & Joetsu Shinkansen lines. [Abstract]. *Japanese Railway Engineering*, Vol. 23, Issue 2, p. 9-14. ISSN 0448-8938.
- Koskennurmi-Sivonen, Ritva. 2007. Grounded theory. Saatavissa: <http://www.helsinki.fi/~rkosken/gt> Viitattu 15.9.2009.
- Kottenhoff, Karl & Lindh, Christer. 1995. The value and effects of introducing high standard train and bus concepts in Blekinge, Sweden. *Transport Policy*, Vol. 2, Issue 4, October 1995, p. 235-241. ISSN 0967-070X.
- Kreutzberger, Ekki D. 2008. Distance and time in intermodal goods transport networks in Europe: A generic approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 42, Issue 7, August 2008, p. 973-993. ISSN 0965-8564.
- Kroes, Eric & Kouwenhoven, Marco & Duchâteau, Hugues & Debrincat, Laurence & Goldberg, Jonathan. 2007. Value of punctuality on suburban trains to and from Paris. [Abstract]. *Transportation Research Record*, Issue 2006, p. 67-75. ISSN 0361-1981.
- Kroon, Leo G. & Maróti, Gábor & Helmrich, Mathijn Retel & Vromans, Michiel J. C. M. & Dekker, Rommert. 2008. Stochastic improvement of cyclic railway timetables. *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 42, Issue 6, p. 553-570. ISSN 0191-2615.
- Krulle, Oliver & Loh, Thorge. 2004. RIS-mobile – Informationsversorgung über mobile Endgeräte [RIS-mobile – Providing information via mobile terminals]. [Abstract]. *Eisenbahningenieur*, Vol. 55, Issue 5, p. 55-56. ISSN 0013-2810.
- Kuckelberg, A. & Wendler, Ekkehard. 2008. Real-time asynchronous conflict solving algorithms for computer aided train dispatching assistance systems. [Abstract]. 11th International Conference on Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems, COMPRAIL 2008, WIT Transactions on The Built Environment, Vol. 103, p. 555-563. Toledo: WITPress. ISSN 1743-3509.



- Kumazawa, K. & Hara, K. & Koseki, T. 2008. A novel train rescheduling algorithm for correcting disrupted train operations in a dense urban environment. [Abstract]. 11th International Conference on Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems, COMPRAIL 2008, WIT Transactions on The Built Environment, Vol. 103, p. 565-574. Toledo: WITPress. ISSN 1743-3509.
- Kurri, Jari & Sirkiä, Ari & Mikola, Juha. 2000. Value of time in freight transport in Finland. [Abstract]. Transportation Research Record, Issue 1725, p. 26-30. ISSN 0361-1981; ISBN 0-309-06728-6.
- Lam, William H. K. & Cheung, Chung-Yu & Lam, C. F. 1999. A study of crowding effects at the Hong Kong light rail transit stations. Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 33, Issue 5, p. 401-415. ISSN 0965-8564.
- Lampe, Dieter. 1991. Qualitätsmerkmal Pünktlichkeit [Punctuality – a quality feature]. [Abstract]. Zeitschrift fuer Eisenbahnwesen und Verkehrstechnik - Glasers Annalen, Vol. 115, Issue 3, p. 84-90. ISSN 0373-322X.
- Landex, A. & Nielsen, O. A. 2006. Simulation of disturbances and modelling of expected train passenger delays. [Abstract]. 10th International Conference on Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems, COMPRAIL 2006, WIT Transactions on The Built Environment, Vol. 88, p. 521-529. Prague: WITPress. ISSN 1743-3509; ISBN 1845641779.
- Lee, Ch-K. 1998. Delay analysis for train operation. [Abstract]. The 1998 6th International Conference on Computer Aided Design, Manufacture and Operation in the Railway and Other Advanced Mass Transit Systems, p. 513-522. Ashurst: Computational Mechanics Publ.
- Lee, JiHsian & Sheng, Kongle & Guo, Jin. 1993. Fast and reliable algorithm for railway train routing. [Abstract]. Proceedings of the 1993 IEEE Region 10 Conference on Computer, Communication, Control and Power Engineering, Part 3, p. 652-655. Beijing: IEEE. ISBN 0780312333.
- Lindfeldt, Olov. 2006. Influences of station length and inter-station distance on delays and delay propagation on single-track lines with regional rail traffic. 10th International Conference on Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems, COMPRAIL 2006, CR06, WIT Transactions on The Built Environment, Vol. 88, p. 511-520. Southampton: WITPress. ISSN 1743-3509.
- Lindfeldt, Olov. 2007. Quality on single-track railway lines with passenger traffic: Analytical model for evaluation of crossing stations and partial double-tracks. Licentiate thesis. Stockholm: KTH. 49 p. ISSN 1653-445X; ISBN 978-91-85539-27-7.
- Lindfeldt, Olov. 2008. Evaluation of punctuality on a heavily utilised railway line with mixed traffic. 11th International Conference on Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems, COMPRAIL 2008, WIT Transactions on The Built Environment, Vol. 103, p. 545-553. Southampton: WITPress. ISSN 1743-3509.

- Liu, Jun & Gao, He. 2007. Study on railway transport service quality evaluation. International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2007, WiCom 2007, p. 3313-3316.
- Liu, Ting & He, Shiwei & Wang, Bao-Hua & An, Jian. 2007. Stochastic chance constrained programming model and solution of marshalling station dispatching plan. [Abstract]. Tiedao Xuebao / Journal of the China Railway Society, Vol. 29, Issue 4, p. 12-17. ISSN 1001-8360.
- Lowe, David. 2005. Rail-freight operations. In book: Intermodal Freight Transport, p. 80-91. Oxford: Butterworth-Heinemann. ISBN 978-0-75-065935-2.
- Luethi, Marco & Medeossi, Giorgio & Nash, Andrew. 2009. Structure and simulation evaluation of an integrated real-time rescheduling system for railway networks. Networks and Spatial Economics, Vol. 9, Issue 1, p. 103-121. ISSN 1566-113X.
- Macharis, C. & Bontekoning, Y. M. 2004. Opportunities for OR in intermodal freight transport research: A review. European Journal of Operational Research, Vol. 153, Issue 2, March 2004, p. 400-416. ISSN 0377-2217.
- Makkinga, F. & Metselaar, S. 1998. Automatic conflict detection and advanced decision support for optimal usage of railway infrastructure: prototyping and test results. [Abstract]. Proceedings of the 1998 6th International Conference on Computer Aided Design, Manufacture and Operation in the Railway and Other Advanced Mass Transit Systems, p. 907-915. Lisbon: Computational Mechanics Publ.
- Mao, Baohua & Jia, Wenzheng & Chen, Shaokuan & Liu, Jianfeng. 2007. A computer-aided multi-train simulator for rail traffic. 2007 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety, ICVES, Beijing: Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society. ISBN 1424412668.
- Mao, Baohua & Yang, Zhaoxia & Wang, Kelvin C. P. 1998. Statistical and simulation-based models for progression prediction of train delays on busy railway lines. [Abstract]. Proceedings of the 1998 International Computing Congress on Computing in Civil Engineering, p. 614-622. Reston: ASCE.
- Martland, Carl D. 1992. Rail freight service productivity from the manager's perspective. [Abstract]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 26, Issue 6, November 1992, p. 457-469. ISSN 0965-8564.
- Mattsson, Lars-Göran. 2007. Railway capacity and train delay relationships. In book: Critical infrastructure: reliability and vulnerability, p. 129-151. Berlin, Heidelberg: Springer. ISBN 978-3-540-68055-0 (print); ISBN 978-3-540-68056-7 (online).
- Mazzarello, Maura & Ottaviani, Ennio. 2007. A traffic management system for real-time traffic optimisation in railways. Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 41, Issue 2, February 2007, p. 246-274. ISSN 0191-2615.
- McTavish, A. D. & Maidment, D. 1989. Quality monitoring in British Rail. [Abstract]. Rail International, Vol. 20, Issue 4-5, p. 17-22. ISSN 0020-8442.



- Meester, Ludolf E. & Muns, Sander. 2007. Stochastic delay propagation in railway networks and phase-type distributions. *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 41, Issue 2, February 2007, p. 218-230. ISSN 0191-2615.
- Milan, Janic. 1996. The Trans European Railway Network : Three levels of services for the passengers. *Transport Policy*, Vol. 3, Issue 3, July 1996, p. 99-104. ISSN 0967-070X.
- Milan, Janic. 1997. Comparison of the quality of rail and air networks in West, Central and Eastern Europe. *Transport Policy*, Vol. 4, Issue 2, April 1997, p. 85-93. ISSN 0967-070X.
- Mühlhans, E. 1990. Berechnung der Verspätungsentwicklung bei Zugfahrten [Calculating the late-running development in train operation]. [Abstract]. *ETR - Eisenbahntechnische Rundschau*, Vol. 39, Issue 7-8, p. 465-468. ISSN 0013-2845.
- Mukula, Mikko. 2008. Aikataulusuunnittelu ja rautatieliikenteen täsmällisyys. Helsinki: Ratahallintokeskus. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 1/2008. 119 p. ISBN 978-952-445-214-4; ISBN 978-952-445-215-1 (pdf); ISSN 1455-2604.
- Nash, Andrew & Ullius, M. 2004. Optimizing railway timetables with OpenTimeTable. [Abstract]. *Computers in Railways IX*, p. 637-646. WIT Press. ISBN 1853127159.
- Nash, Andrew & Weidmann, Ulrich & Bollinger, Stephan & Luethi, Marco & Buchmueller, Stefan. 2006. Increasing schedule reliability on the S-Bahn in Zurich, Switzerland computer analysis and simulation. [Abstract]. *Transportation Research Record*, Issue 1955, p. 17-25. ISSN 0361-1981.
- Nathanail, Eftihia. 2008. Measuring the quality of service for passengers on the Hellenic railways. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 42, Issue 1, January 2008, p. 48-66. ISSN 0965-8564.
- Nelson, D. & O'Neil, K. 2000. Commuter rail service reliability: On-time performance and causes for delays. [Abstract]. *Transportation Research Record*, Issue 1704, p. 42-52. ISSN 0361-1981.
- Noland, Robert B. & Polak, John W. 2002. Travel time variability: a review of theoretical and empirical issues. [Abstract]. *Transport Reviews*, Vol. 22, Issue 1, p. 39-54. ISSN 0144-1647.
- NS. 2009. Annual report 2008. Utrecht: NS. Saatavissa: <http://www.ns.nl/cs/Satellite/travellers/en-service/annual-reports/year-2008>
- Nuzzolo, Agostino & Crisalli, Umberto & Gangemi, Francesca. 2000. A behavioural choice model for the evaluation of railway supply and pricing policies. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 34, Issue 5, June 2000, p. 395-404. ISSN 0965-8564.
- Nyström, Birre. 2008. A methodology for measuring the quality of deviation reporting: Applied to railway delay attribution. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 25, Issue 7, p. 656-673. ISSN 0265-671X.

Olsson, Nils O. E. 2006. Impact analysis of railway projects in a flexibility perspective. *Transport Reviews*, Vol. 26, Issue 5, p. 557-569. ISSN 0144-1647.

Olsson, Nils O. E. & Haugland, Hans. 2004. Influencing factors on train punctuality – results from some Norwegian studies. *Transport Policy*, Vol. 11, Issue 4, p. 387-397. ISSN 0967-070X.

Peters, Jan & Emig, Bastian & Jung, Marten & Schmidt, Stefan. 2005. Prediction of delays in public transportation using neural networks. *International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation, CIMCA 2005 and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce, IAWTIC 2005*, Vol. 2, p. 92-97. Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society.

Petersen, E. R. & Taylor, A. J. 1987. Design of single-track rail line for high-speed trains. [Abstract]. *Transportation Research Part A: General*, Vol. 21, Issue 1, January 1987, p. 47-57. ISSN 0191-2607.

ProRail. 2009a. Network statement 2010. Version 1.0. Utrecht: ProRail.

ProRail. 2009b. ProRail. Saatavissa: <http://www.prorail.nl/> Viitattu 28.8.2009.

Queen's University Belfast. 2009. Malachy Carey CV. Saatavissa: <http://www.qub.ac.uk/research-centres/TransportResearch/MalachyCareyCV/> Viitattu 28.8.2009.

Queensland University of Technology. 2009a. Browse by person: Ferreira, Luis. Saatavissa: [http://eprints.qut.edu.au/view/person/Ferreira,\\_Luis.html](http://eprints.qut.edu.au/view/person/Ferreira,_Luis.html) Viitattu 14.9.2009.

Queensland University of Technology. 2009b. Browse by person: Higgins, Andrew. Saatavissa: [http://eprints.qut.edu.au/view/person/Higgins,\\_Andrew.html](http://eprints.qut.edu.au/view/person/Higgins,_Andrew.html) Viitattu 14.9.2009.

Queensland University of Technology. 2009c. Prof. Erhan Kozan. Saatavissa: <http://www.scitech.qut.edu.au/about/staff/mathsci/operations/kozane.jsp> Viitattu 14.9.2009.

Queensland University of Technology. 2009d. Professor Luis Ferreira. Saatavissa: <http://www.bee.qut.edu.au/about/schools/urban/staff/civil/lferreira.jsp> Viitattu 14.9.2009.

Railforum. 2009. Tram vs. trein: Er valt nog zoveel te winnen als we bereid zijn van elkaar te leren. *Railforum*, Issue 71, p. 10-11.

Ricci, Stefano & Tieri, A. 2008. A Petri nets based decision support tool for railway traffic conflicts forecasting and resolution. [Abstract]. *11th International Conference on Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems, COMPRAIL 2008, WIT Transactions on The Built Environment*, Vol. 103, p. 483-492. Toledo: WITPress. ISSN 1743-3509.

Rietveld, Piet & Bruinsma, F. R. & Van Vuuren, D. J. 2001. Coping with unreliability in public transport chains: A case study for Netherlands. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 35, Issue 6, p. 539-559. ISSN 0965-8564.



- Rodrigue, Jean-Paul. 2008. The Thruport concept and transmodal rail freight distribution in North America. *Journal of Transport Geography*, Vol. 16, Issue 4, July 2008, p. 233-246. ISSN 0966-6923.
- Rodriguez, Joaquín. 2008. An incremental decision algorithm for railway traffic optimisation in a complex station. [Abstract]. 11th International Conference on Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems, COMPRAIL 2008, WIT Transactions on The Built Environment, Vol. 103, p. 495-504. Toledo: WITPress. ISSN 1743-3509.
- Rotterdam School of Management. 2009a. Kroon, Prof. Dr. Leo. Saatavissa: [http://www.rsm.nl/home/faculty/academic\\_departments/decision\\_and\\_information\\_sciences/faculty/faculty/kroon](http://www.rsm.nl/home/faculty/academic_departments/decision_and_information_sciences/faculty/faculty/kroon) Viitattu 28.8.2009.
- Rotterdam School of Management. 2009b. Maroti, Dr. Gabor. Saatavissa: [http://www.rsm.nl/home/faculty/academic\\_departments/decision\\_and\\_information\\_sciences/faculty/faculty/maroti](http://www.rsm.nl/home/faculty/academic_departments/decision_and_information_sciences/faculty/faculty/maroti) Viitattu 28.8.2009.
- Sagareli, Sergo. 2004. Traction power systems reliability concepts. *Proceedings of the 2004 ASME/IEEE Joint Rail Conference*, p. 35-39.
- Sakowitz, C. & Wendler, Ekkehard. 2006. Optimising train priorities to support the regulation of train services with the assistance of active and deductive databases. [Abstract]. 10th International Conference on Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems, COMPRAIL 2006, WIT Transactions on The Built Environment, Vol. 88, p. 489-499. Prague: WITPress. ISSN 1743-3509; ISBN 1845641779.
- Salerno, Giorgio & Costalli, Luigi & Guida, Pier Luigi. 2008. Nuovo metodo di analisi dei ritardi e valutazione del "performance regime" [A new method for delay analysis and "performance regime" evaluation]. [Abstract]. *Ingegneria Ferroviaria*, Vol. 63, Issue 4, p. 305-321. ISSN 0020-0956.
- Salido, M. A. & Barber, F. & Ingolotti, L. 2008. Robustness in railway transportation scheduling. *Proceedings of the World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA) 2008*, p. 2833-2837. ISBN 9781424421145.
- Salkonen, Riikka. 2008. Rautatieliikenteen täsmällisyyden mittaaminen. Helsinki: Ratahallintokeskus. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 15/2008. 114 p. ISBN 978-952-445-251-9; ISBN 978-952-445-252-6 (pdf); ISSN 1455-2604; ISSN 1797-6995 (pdf).
- Sanz Bobi, Juan, De Dios & López, Ramón Galán & De Pedro, José Manuel, Mera S. & Núñez, Jorge Garzón & Pe, De La. 2008. Advanced tool for railway planning and traffic control decision making. [Abstract]. ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, IMECE 2007, Vol. 16, p. 479-488. Seattle: American Society of Mechanical Engineers. ISBN 0791843106.
- Schmocker, Jan-Dirk & Cooper, Shoshana & Adeney, William. 2005. Metro service delay recovery: Comparison of strategies and constraints across systems. [Abstract]. *Transportation Research Record*, Issue 1930, p. 30-37. ISSN 0361-1981.

Schöbel, Anita. 2007. Integer programming approaches for solving the delay management problem. 4th International Workshop on Algorithmic Methods and Models for Optimization of Railways, ATMOS 2004, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4359 NCS, p. 145-170. Heidelberg: Springer Verlag. ISSN 0302-9743.

SCImago. 2009. SJR – SCImago Journal & Country Rank. Saatavissa: <http://www.scimagojr.com> Viitattu 28.8.2009.

Scopus. 2009a. Author details. Carey, Malachy. Saatavissa: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=7202744580> Viitattu 14.9.2009.

Scopus. 2009b. Author details. Daamen, Winnie. Saatavissa: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=6602658905> Viitattu 14.9.2009.

Scopus. 2009c. Author details. D'Ariano, Andrea. Saatavissa: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=16425651000> Viitattu 14.9.2009.

Scopus. 2009d. Author details. Dekker, Rommert. Saatavissa: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=7103035194> Viitattu 14.9.2009.

Scopus. 2009e. Author details. Ferreira, Luis Alberto. Saatavissa: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=7202856955> Viitattu 15.9.2009.

Scopus. 2009f. Author details. Goodman, Colin J. Saatavissa: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=7202269235> Viitattu 14.9.2009.

Scopus. 2009g. Author details. Goverde, R M P. Saatavissa: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=6602519121> Viitattu 14.9.2009.

Scopus. 2009h. Author details. Hansen, Ingo Arne. Saatavissa: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=7102128316> Viitattu 14.9.2009.

Scopus. 2009i. Author details. Higgins, Andrew J. Saatavissa: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=7102775604> Viitattu 15.9.2009.

Scopus. 2009j. Author details. Huisman, Dennis. Saatavissa: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=6602531526> Viitattu 14.9.2009.

Scopus. 2009k. Author details. Kozan, Erhan. Saatavissa: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=6701560585> Viitattu 15.9.2009.

Scopus. 2009l. Author details. Kroon, Leo G. Saatavissa: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=7003534164> Viitattu 14.9.2009.

Scopus. 2009m. Author details. Maróti, Gábor. Saatavissa: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=9635556700> Viitattu 14.9.2009.

Scopus. 2009n. Author details. Roberts, Clive M. Saatavissa: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=15825643500> Viitattu 14.9.2009.



- Scopus. 2009o. Author details. Vromans, Michiel J C M. Saatavissa: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=8987566300> Viitattu 14.9.2009.
- Scopus. 2009p. Author details. Weeda, V A. Saatavissa: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=22987031800> Viitattu 14.9.2009.
- Scopus. 2009q. Author details. Yuan, Jianxin. Saatavissa: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=7403400173> Viitattu 14.9.2009.
- Seewald, Nancy. 2002. Railroads fail to deliver on service. [Abstract]. Chemical Week, Vol. 164, Issue 36, p. 32-34. ISSN 0009-272X.
- Sheu, Jih-Wen & Lin, Wei-Song. 2008. Designing automatic train regulation for MRT system by adaptive critic method. 2008 International Joint Conference on Neural Networks, IJCNN 2008, p. 406-412. Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Shimizu, H. & Tanabe, H. & Honda, S. & Yasura, K. 2006. The new Shinkansen rescheduling system for drivers and crew. [Abstract]. 10th International Conference on Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems, COMPRAIL 2006, WIT Transactions on The Built Environment, Vol. 88, p. 227-234. Prague: WITPress. ISSN 1743-3509; ISBN 1845641779.
- Shoji, Shigeo & Igarashi, Akio. 1997. New trends of train control and management systems with real-time and non real-time properties. Proceedings of the 1997 3rd International Symposium on Autonomous Decentralized Systems, ISADS'97, p. 319-326. Piscataway: IEEE.
- Sinha, Rahul & Rajput, V. S. & Asthana, R. G. S. 1990. EXDAFS – An expert system for dynamic allocation of facilities at stations. [Abstract]. Proceedings of the 7th IEEE Conference on Artificial Intelligence Applications, p. 419-425. Miami Beach: IEEE. ISBN 0818621354.
- Sipilä, Anna. 2008. Rautatieliikenteen häiriöiden analysoinnin kehittäminen. Helsinki: Ratahallintokeskus. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 11/2008. 107 p. ISBN 978-952-445-239-7; ISBN 978-952-445-240-3 (pdf); ISSN 1455-2604; ISSN 1797-6995 (pdf).
- Spiess, Peter. 2005. Schmierfilm auf den Schienen – Systemlösungen für das Herbstproblem [Leaves on the track – Solutions for the autumn problem using a system approach]. [Abstract]. ZEVrail - Glasers Annalen, Vol. 129, p. 220-225. ISSN 1618-8330.
- Stenbeck, Torbjörn. 2008. Quantifying effects of incentives in a rail maintenance performance-based contract. Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 134, Issue 4, p. 265-272. ISSN 0733-9364.
- Tadi, Ramakrishna Reddy & Palaniswamy, S. P. 1984. Comparison of various freight train dispatching policies for Indian railways. [Abstract]. Journal of Transportation Engineering, Vol. 110, Issue 3, p. 357-365. ISSN 0733-947X.

Takagi, R. & Goodman, Colin J. & Roberts, Clive M. 2004. Optimising departure times at a transport interchange to improve connections when services are disrupted. [Abstract]. Ninth International Conference on Computers in Railways, COMPRAIL IX, Vol. 15, p. 707-714. Dresden: WITPress. ISSN 1462-608X.

Takagi, R. & Weston, Paul F. & Goodman, Colin J. & Bouch, C. & Armstrong, J. & Preston, John & Sone, Satoru. 2006. Optimal train control at a junction in the main line rail network using a new object-oriented signalling system model. [Abstract]. 10th International Conference on Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems, COMPRAIL 2006, WIT Transactions on the Built Environment, Vol. 88, p. 479-488. Prague: WITPress. ISSN 1743-3509; ISBN 1845641779.

Tapiador, Francisco J. & Burckhart, Kerstin & Martí-Henneberg, Jordi. 2009. Characterizing European high speed train stations using intermodal time and entropy metrics. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 43, Issue 2, February 2009, p. 197-208. ISSN 0965-8564.

Thomson Reuters. 2009. ISI Web of Knowledge. Journal Citation Reports. Saatavissa: [http://admin-apps.isiknowledge.com/JCR/JCR\\_Viitattu](http://admin-apps.isiknowledge.com/JCR/JCR_Viitattu) 28.8.2009.

Thornes, John E. & Davis, Brian W. 2002. Mitigating the impact of weather and climate on railway operations in the UK. *Proceedings of the 2002 ASME/IEEE Joint Rail Conference*, p. 29-38. Washington, DC: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

Tomii, Norio & Tashiro, Yoshiaki & Tanabe, Noriyuki & Hirai, Chikara & Muraki, Kunimitsu. 2005. Train rescheduling algorithm which minimizes passengers' dissatisfaction. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 3533, p. 829-838.

Törnquist, Johanna. 2007. Railway traffic disturbance management – An experimental analysis of disturbance complexity, management objectives and limitations in planning horizon. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 41, Issue 3, March 2007, p. 249-266. ISSN 0965-8564.

Törnquist, Johanna & Gustafsson, Inger. 2004. Perceived benefits of improved information exchange – a case study on rail and intermodal transports. *Research in Transportation Economics*, Vol. 8, p. 415-440. ISSN 0739-8859.

TRAIL Research School. 2009. TRAIL – the Netherlands Research School for Transport, Infrastructure and Logistics. Saatavissa: <http://www.rstrail.nl/> Viitattu 28.8.2009.

Tripp, Carolyn & Drea, John T. 2002. Selecting and promoting service encounter elements in passenger rail transportation. *Journal of Services Marketing*, Vol. 16, Issue 5, p. 432-442. ISSN 0887-6045.

Trotter, S. D. 1987. Measuring the quality of service: a note on British Rail's 'Q-Statistic'. [Abstract]. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 38, Issue 1, January 1987, p. 65. ISSN 0160-5682.



- Tseng, Yin-Yen & Rietveld, Piet & Verhoef, Erik. 2004. A meta-analysis of valuation of travel time reliability. Vrije Universiteit Amsterdam. 19 p.
- Tsuji, Yohko. 2006. Railway time and rubber time: The paradox in the Japanese conception of time. [Abstract]. Time & Society, Vol. 15, Issue 2-3, September 2006, p. 177-195. ISSN 0961-463X.
- TU Delft. 2009a. Design of transport systems. Saatavissa: <http://www.citg.tudelft.nl/live/pagina.jsp?id=316ec605-0b70-4543-8dcf-c355df2caaec&lang=en> Viitattu 28.8.2009.
- TU Delft. 2009b. Dr. Ir. Winnie (W.) Daamen. Saatavissa: <http://www.citg.tudelft.nl/live/pagina.jsp?id=1e19fea6-0496-4cf5-a24c-14bb6d1efa47&lang=en> Viitattu 28.8.2009.
- TU Delft. 2009c. Dr. Rob Goverde. Saatavissa: <http://195.242.98.83/?object=staff&method=detail&item=26> Viitattu 28.8.2009.
- TU Delft. 2009d. Dr. Ir. Andrea (A.) D'Ariano. Saatavissa: <http://www.citg.tudelft.nl/live/pagina.jsp?id=fe427d9e-777b-4257-b878-64f26af90726&lang=en> Viitattu 28.8.2009.
- TU Delft. 2009e. Ir. Vincent Weeda. Saatavissa: <http://195.242.98.83/?object=staff&method=detail&item=103> Viitattu 28.8.2009.
- TU Delft. 2009f. Prof. Dr.-Ing. Ingo Hansen. Saatavissa: <http://195.242.98.83/?object=staff&method=view&item=29> Viitattu 28.8.2009.
- TU Delft. 2009g. Prof. Dr.-Ing. Ingo Hansen. Publications. Saatavissa: <http://195.242.98.83/?object=staff&method=detail&item=29> Viitattu 28.8.2009.
- TU Delft. 2009h. Transport planning. Saatavissa: <http://www.citg.tudelft.nl/live/pagina.jsp?id=f57d1302-364e-48c1-bcf3-8164a79c2216&lang=en> Viitattu 28.8.2009.
- Turnquist, M. A. & Daskin, M. S. 1982. Queueing models of classification and connection delay in railyards. [Abstract]. Transportation Science, Vol. 16, Issue 2, p. 207-230.
- Ulrichsweb.com. 2009. Ulrich's Periodicals Directory. Saatavissa: <http://ulrichsweb.com/> Viitattu 14.9.2009.
- University of Birmingham. 2000. Dr Colin J Goodman. Saatavissa: [http://www.eee.bham.ac.uk/pets\\_gr/people/cjgpage.htm](http://www.eee.bham.ac.uk/pets_gr/people/cjgpage.htm) Viitattu 28.8.2009.
- University of Birmingham. 2009a. The Birmingham Centre for Railway Research and Education. Railway research. Saatavissa: <http://www.railway.bham.ac.uk/research/> Viitattu 28.8.2009.
- University of Birmingham. 2009b. Dr Clive Roberts. Saatavissa: <http://www.eece.bham.ac.uk/People/MrCliveRoberts/tabid/151/Default.aspx> Viitattu 28.8.2009.

University of Birmingham. 2009c. Dr Colin J Goodman. Saatavissa: <http://www.eece.bham.ac.uk/Default.aspx?tabid=140> Viitattu 28.8.2009.

University of Birmingham. 2009d. Professor John Thornes. Saatavissa: <http://www.gees.bham.ac.uk/staff/thornesje.shtml> Viitattu 28.8.2009.

van den Boom, Ton & De Schutter, Bart. 2004. Modeling and control of railway networks. [Abstract]. Proceedings of the 2004 American Control Conference (AAC), Vol. 6, p. 5728-5733. Boston: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. ISSN 0743-1619.

van Oort, Niels & Weeda, Vincent Adeodat. 2009. The added value of sharing tram and train expertise. Saatavissa: <http://www.htm.net/Documenten/RailZurich2009%20Added%20Value.pdf>

Van Schijndel, W. J. & Dinwoodie, J. 2000. Congestion and multimodal transport: a survey of cargo transport operators in the Netherlands. *Transport Policy*, Vol. 7, Issue 4, October 2000, p. 231-241. ISSN 0967-070X.

Vansteenwegen, Pieter & Van Oudheusden, Dirk D. L. 2006. Developing railway timetables which guarantee a better service. *European Journal of Operational Research*, Vol. 173, Issue 1, August 2006, p. 337-350. ISSN 0377-2217.

Vansteenwegen, Pieter & Van Oudheusden, Dirk D. L. 2007. Decreasing the passenger waiting time for an intercity rail network. *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 41, Issue 4, May 2007, p. 478-492. ISSN 0191-2615.

Veiseth, M. & Olsson, Nils O. E. & Saetermo, I. A. F. 2007. Infrastructure's influence on rail punctuality. 13th International Conference on Urban Transport and the Environment in the 21st Century, URBAN TRANSPORT 2007, WIT Transactions on The Built Environment, Vol. 96, p. 481-490. Southampton: WITPress. ISSN 1743-3509.

Vromans, Michiel J. C. M. 2005. Reliability of railway systems. Dissertation. Rotterdam: Erasmus University of Rotterdam. 248 p. TRAIL Thesis series T2005/7. ISBN 90-5892-089-5.

Vromans, Michiel J. C. M. & Dekker, Rommert & Kroon, Leo G. 2004. Simulation and railway timetabling norms. [Abstract]. Ninth International Conference on Computers in Railways, COMPRAIL IX, Vol. 15, p. 685-694. Southampton: WIT Press. ISSN 1462-608X.

Vromans, Michiel J. C. M. & Dekker, Rommert & Kroon, Leo G. 2006. Reliability and heterogeneity of railway services. *European Journal of Operational Research*, Vol. 172, Issue 2, July 2006, p. 647-665. ISSN 0377-2217.

Vukadinovic, K. & Teodorovic, D. & Pavkovic, G. & Rosic, S. 1996. A neural network approach to mitigation of vehicle schedule disturbances. [Abstract]. *Transportation Planning and Technology*, Vol. 20, Issue 1, p. 93-102. ISSN 0308-1060.



- Wall, Graham & McDonald, Mike. 2007. Improving bus service quality and information in Winchester. *Transport Policy*, Vol. 14, Issue 2, March 2007, p. 165-179. ISSN 0967-070X.
- Walters, Megan. 1999. Performance measurement systems – a case study of customer satisfaction. *Facilities*, Vol. 17, Issue 3, p. 97-104. ISSN 0263-2772.
- Wang, Shidong & Zheng, Li & Zhang, Zhihai & Liu, Shucheng. 2008. Mathematical model and algorithm for automatically programming the stage plan of marshalling station. [Abstract]. *Zhongguo Tiedao Kexue / China Railway Science*, Vol. 29, Issue 2, p. 120-125. ISSN 1001-4632.
- Webster, Jane & Watson, Richard T. 2002. Analyzing the past to prepare for the future: Writing a literature review. *MIS Quarterly*, Vol. 26, Issue 2, June 2002, p. xiii-xxiii. ISSN 0276-7783.
- Weeda, Vincent Adeodat & Wiggenraad, P. B. L. 2006. Joint design standard for running times, dwell times and headway times. [Abstract]. 10th International Conference on Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems, COMPRAIL 2006, WIT Transactions on The Built Environment, Vol. 88, p. 611-620. Southampton: WITPress. ISSN 1743-3509.
- Wegele, Stefan & Corman, Francesco & D'Ariano, Andrea. 2008. Comparing the effectiveness of two real-time train rescheduling systems in case of perturbed traffic conditions. [Abstract]. 11th International Conference on Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems, COMPRAIL 2008, WIT Transactions on The Built Environment, Vol. 103, p. 535-544. Toledo: WITPress. ISSN 1743-3509.
- Weigand, W. 1981. Verspätungsübertragungen in Fernverkehrsnetzen [Delay propagation in long distance traffic networks]. [Publication data]. *ETR - Eisenbahntechnische Rundschau*, Vol. 30, Issue 12, p. 915-920. ISSN 0013-2845.
- Weits, Ello A. G. 1998. Simulation of railway traffic control. *International Transactions in Operational Research*, Vol. 5, Issue 6, November 1998, p. 461-469. ISSN 0969-6016.
- Wendler, Ekkehard & Nießen, Nils. 2008. Stochastische Modelle in der Eisenbahnbetriebswissenschaft [Stochastic models in railway operations research]. [Abstract]. *ZEVRail - Glasers Annalen*, Vol. 132, Issue 1-2, p. 40-48. ISSN 1618-8330.
- Xu, Ruihua & Jiang, Zhibin & Shao, Wei-Zhong & Zhu, Xiao-Jie. 2006. Simulation study on train delay and propagation characteristics of urban mass transit systems. [Abstract]. *Tiedao Xuebao / Journal of the China Railway Society*, Vol. 28, Issue 2, p. 7-10. ISSN 1001-8360.
- Xun, Jing & Ning, Bin & Li, Keping. 2007. Network-based train-following model and study of train's delay propagation. [Abstract]. *Wuli Xuebao / Acta Physica Sinica*, Vol. 56, Issue 9, p. 5158-5164. ISSN 1000-3290.

- Yin, Yafeng & Lam, William H. K. & Miller, Mark A. 2003. A simulation-based reliability assessment approach for congested transit network. [Abstract]. *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 38, Issue 1, p. 27-44. ISSN 0197-6729.
- Yu, Jin & Qian, Qing-Quan & He, Zheng-You. 2008. Research on application of two-degree fuzzy neural network in ATO of high speed train. [Abstract]. *Tiedao Xuebao / Journal of the China Railway Society*, Vol. 30, Issue 5, p. 52-56. ISSN 1001-8360.
- Yuan, Jianxin. 2006. Stochastic modelling of train delays and delay propagation in stations. Dissertation. Delft: Delft University of Technology. 162 p. TRAIL Thesis Series T2006/6. ISBN 978-90-5972-138-8.
- Yuan, Jianxin. 2007. Dealing with stochastic dependence in the modeling of train delays and delay propagation. [Abstract]. *International Conference on Transportation Engineering 2007, ICTE 2007*, p. 3908-3914. ISBN 9780784409329.
- Yuan, Jianxin & Goverde, Rob M. P. & Hansen, Ingo A. 2002. Propagation of train delays in stations. [Abstract]. *Computers in Railways VIII*, p. 975-984.
- Yuan, Jianxin & Goverde, Rob M. P. & Hansen, Ingo A. 2006. Evaluating stochastic train process time distribution models on the basis of empirical detection data. [Abstract]. *10th International Conference on Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems, COMPRAIL 2006, WIT Transactions on The Built Environment*, Vol. 88, p. 631-640. Prague: WITPress. ISSN 1743-3509; ISBN 1845641779.
- Yuan, Jianxin & Hansen, Ingo A. 2002. Punctuality of train traffic in Dutch railway stations. [Abstract]. *Traffic and Transportation Studies Proceedings of ICTTS 2002*, p. 522-529. American Society of Civil Engineers.
- Yuan, Jianxin & Hansen, Ingo A. 2004. Analysis of scheduled and real capacity utilisation at a major Dutch Railway station. [Abstract]. *Ninth International Conference on Computers in Railways, COMPRAIL IX*, Vol. 15, p. 593-602. Southampton: WIT Press. ISSN 1462-608X.
- Yuan, Jianxin & Hansen, Ingo A. 2007. Optimizing capacity utilization of stations by estimating knock-on train delays. *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 41, Issue 2, February 2007, p. 202-217. ISSN 0191-2615.
- Yuan, Jianxin & Hansen, Ingo A. 2008. Closed form expressions of optimal buffer times between scheduled trains at railway bottlenecks. *11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 2008, ITSC 2008*, p. 675-680.
- Zhang, Nan & Xu, Wei & Zhao, Hong-Xia. 2008. The application of dynamic planning algorithm in automatic adjustment of train operation stage schedule for railway junction. [Abstract]. *2008 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics, IEEE/SOLI 2008*, Vol. 2, p. 1587-1591. Beijing: Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society.



Zhou, Hua-Liang & Gao, Ziyou & Li, Keping. 2006. Cellular automaton model for moving-like block system and study of train's delay propagation. [Abstract]. Wuli Xuebao / Acta Physica Sinica, Vol. 55, Issue 4, p. 1706-1710. ISSN 1000-3290.

Zio, Enrico & Marella, Marco & Podofillini, Luca. 2007. Importance measures-based prioritization for improving the performance of multi-state systems: application to the railway industry. Reliability Engineering & System Safety, Vol. 92, Issue 10, October 2007, p. 1303-1314. ISSN 0951-8320.

# INFRASTRUKTUURI-teeman julkaisu

Osuuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)

täsmällisyys-

tutkimuksen

näkökulmasta

Täysosuma

Carey & Carville 2000. Testing schedule performance and reliability for train stations. Journal Article.

Cole & Cooper 2005. Making the trains run on time: The tyranny of performance indicators. Journal Article.

D'Ariano & Pranzo 2009. An advanced real-time train dispatching system for minimizing the propagation of delays in a dispatching area under severe disturbances. Journal Article.

De Bruijn & De Bruijne & Steenhuisen 2007. Managing infrastructure vulnerability. Conference Proceedings.

Goverde & Daamen & Hansen 2008. Automatic identification of route conflict occurrences and their consequences. Conference Proceedings.

Granström 2008. A system and stakeholder approach for the identification of condition information: A case study for the Swedish railway. Journal Article.

Hansen & Yuan 2006. Stochastic modeling of delay propagation at railway stations and junctions. Conference Proceedings.

Higgins & Kozan & Ferreira 1995. Modelling delay risks associated with train schedules. Journal Article.

Houben & Rietveld & van Hagen & Daamen & Moltzer 2006. Importance of reliability for transportation chains. Subjective versus objective reliability: chances for incentives? Report.

Jiang & Xu & Xie 2007. Train delay propagation simulation in rail transit system. Conference Proceedings.

Jovanovic 1989. Improving railroad on-time performance: Models, algorithms and applications. Dissertation/Thesis.

Kikuchi 1983. Snow countermeasures of the Tohoku & Joetsu Shinkansen lines. Journal Article.

Lindfeldt 2006. Influences of station length and inter-station distance on delays and delay propagation on single-track lines with regional rail traffic. Conference Proceedings.

Mattsson 2007. Railway capacity and train delay relationships. Book, Section.

Meester & Muns 2007. Stochastic delay propagation in railway networks and phase-type distributions. Journal Article.

Mühlhans 1990. Berechnung der Verspätungsentwicklung bei Zugfahrten [Calculating the late-running development in train operation]. Magazine Article.

Nash & Weidmann & Bollinger & Luethi & Buchmueller 2006. Increasing schedule reliability on the S-Bahn in Zurich, Switzerland computer analysis and simulation. Journal Article.

Olsson & Haugland 2004. Influencing factors on train punctuality – results from some Norwegian studies. Journal Article.

Takagi & Weston & Goodman & Bouch & Armstrong & Preston & Sone 2006. Optimal train control at a junction in the main line rail network using a new object-oriented signalling system model. Conference Proceedings.

Thornes & Davis 2002. Mitigating the impact of weather and climate on railway operations in the UK. Conference Proceedings.

Veiseth & Olsson & Saetermo 2007. Infrastructure's influence on rail punctuality. Conference Proceedings.

Weigand 1981. Verspätungsübertragungen in Fernverkehrsnetzen [Delay propagation in long distance traffic networks]. Magazine Article.

Yin & Lam & Miller 2003. A simulation-based reliability assessment approach for congested transit network. Journal Article.

Yuan 2004. An analytical model for estimating the propagation of train delays in complex station areas. Conference Proceedings.

Yuan 2006. Stochastic modelling of train delays and delay propagation in stations. Dissertation/Thesis.

Yuan & Goverde & Hansen 2002. Propagation of train delays in stations. Conference Proceedings.

Yuan & Hansen 2007. Optimizing capacity utilization of stations by estimating knock-on train delays. Journal Article.

Albrecht & Goverde & Weeda & Van Luipen 2006. Reconstruction of train trajectories from track occupation data to determine the effects of a Driver Information System. Conference Proceedings.

Anon. 2007. Algorithmic methods for railway optimization – International Dagstuhl workshop 2004. Conference Proceedings.

Bandara & Ekanayake 2003. Train scheduling simulation that minimises operational conflicts due to service constraints. Journal Article.

Barter 2004. Forecasting robustness of timetables. Conference Proceedings.

Carey & Carville 2003. Scheduling and platforming trains at busy complex stations. Journal Article.

Chakroborty & Vikram 2008. Optimum assignment of trains to platforms under partial schedule compliance. Journal Article.

Chandesris 2006. Statistical method for the evaluation of railway systems modifications. Conference Proceedings.

Daamen & Goverde & Hansen & Weeda 2006. Monitoring system for reliability of transport chains. Conference Proceedings.

Daamen & Houben & Goverde & Hansen & Weeda 2008. Monitoring system for reliability of rail transport chains. Report.

Delorme & Gandibleux & Rodríguez 2009. Stability evaluation of a railway timetable at station level. Journal Article.

Dure 1999. Maximizing operating reliability in design of long single-track light rail transit lines. Journal Article.

Ferreira 1997. Rail track infrastructure ownership: investment and operational issues. Journal Article.

Ferreira & Higgins 1998. Scheduling rail track maintenance. Conference Proceedings.

Fotea 1976. Determination of the number of reception sidings, having regard to the probability of delays to trains. Magazine Article.

Gibson & Cooper & Ball 2002. Developments in transport policy: The evolution of capacity charges on the UK rail network. Journal Article.

Greenberg & Leachman & Wolff 1988. Predicting dispatching delays on a low speed, single track railroad. Journal Article.

Hansen 2000. Station capacity and stability of train operations. Conference Proceedings.

Higgins & Kozan & Ferreira 1997. Modelling the number and location of sidings on a single line railway. Journal Article.

Ieda & Kanayama & Ota & Yamazaki & Okamura 2001. How can the quality of rail services in Tokyo be further improved? Journal Article.

Lee & Sheng & Guo 1993. Fast and reliable algorithm for railway train routing. Conference Proceedings.

Lindfeldt 2007. Quality on single-track railway lines with passenger traffic: Analytical model for evaluation of crossing stations and partial double-tracks. Dissertation/Thesis.

Olsson 2006. Impact analysis of railway projects in a flexibility perspective. Journal Article.

Petersen & Taylor 1987. Design of single-track rail line for high-speed trains. Journal Article.

Ricci & Tieri 2008. A Petri nets based decision support tool for railway traffic conflicts forecasting and resolution. Conference Proceedings.

Rodrigue 2008. The Thruport concept and transmodal rail freight distribution in North America. Journal Article.

Rodriguez 2008. An incremental decision algorithm for railway traffic optimisation in a complex station. Conference Proceedings.

Sagarelli 2004. Traction power systems reliability concepts. Conference Proceedings.

Sakowitz & Wendler 2006. Optimising train priorities to support the regulation of train services with the assistance of active and deductive databases. Conference Proceedings.

Spieß 2005. Schmierfilm auf den Schienen – Systemlösungen für das Herbstproblem [Leaves on the track – Solutions for the autumn problem using a system approach]. Journal Article.

Turnquist & Daskin 1982. Queueing models of classification and connection delay in railyards. Journal Article.

Vromans & Dekker & Kroon 2004. Simulation and railway timetabling norms. Conference Proceedings.

Zio & Marella & Podofilini 2007. Importance measures-based prioritization for improving the performance of multi-state systems: application to the railway industry. Journal Article.

Merkittävä  
osuma



## RAUTATIEOPERAATTORI-teeman julkaisu

Osuvuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)  
täsmällisyys-  
tutkimuksen  
näkökulmasta

Täysosuma	<p>Cole &amp; Cooper 2005. Making the trains run on time: The tyranny of performance indicators. Journal Article.</p> <p>Debrincat &amp; Goldberg &amp; Duchâteau &amp; Kroes &amp; Kouwenhoven 2007. Regularity of trains in Ile de France: What does it mean to users? Journal Article.</p> <p>Fiedler 2005. Verlässlichkeit als Konkurrenzriterium [Reliability as a competitiveness criterion]. Magazine Article.</p> <p>Galetzka &amp; Gelders &amp; Verckens &amp; Seydel 2008. Transparency and performance communication: a case study of Dutch Railways. Journal Article.</p> <p>Goverde &amp; Daamen &amp; Hansen 2008. Automatic identification of route conflict occurrences and their consequences. Conference Proceedings.</p> <p>Granström 2008. A system and stakeholder approach for the identification of condition information: A case study for the Swedish railway. Journal Article.</p> <p>Hansen 2001. Improving railway punctuality by automatic piloting. Conference Proceedings.</p> <p>Jiang &amp; Xu &amp; Xie 2007. Train delay propagation simulation in rail transit system. Conference Proceedings.</p> <p>Kikuchi 1983. Snow countermeasures of the Tohoku &amp; Joetsu Shinkansen lines. Journal Article.</p> <p>Lindfeldt 2008. Evaluation of punctuality on a heavily utilised railway line with mixed traffic. Conference Proceedings.</p> <p>Nash &amp; Weidmann &amp; Bollinger &amp; Luethi &amp; Buchmueller 2006. Increasing schedule reliability on the S-Bahn in Zurich, Switzerland computer analysis and simulation. Journal Article.</p> <p>Nelson &amp; O'Neil 2000. Commuter rail service reliability: On-time performance and causes for delays. Journal Article.</p> <p>Thornes &amp; Davis 2002. Mitigating the impact of weather and climate on railway operations in the UK. Conference Proceedings.</p> <p>Tripp &amp; Drea 2002. Selecting and promoting service encounter elements in passenger rail transportation. Journal Article.</p> <p>Yin &amp; Lam &amp; Miller 2003. A simulation-based reliability assessment approach for congested transit network. Journal Article.</p> <p>Yuan 2006. Stochastic modelling of train delays and delay propagation in stations. Dissertation/Thesis.</p> <p>Yuan &amp; Hansen 2007. Optimizing capacity utilization of stations by estimating knock-on train delays. Journal Article.</p>
Merkittävä osuma	<p>Albrecht &amp; Goverde &amp; Weeda &amp; Van Luipen 2006. Reconstruction of train trajectories from track occupation data to determine the effects of a Driver Information System. Conference Proceedings.</p> <p>Albrecht &amp; Van Luipen &amp; Hansen &amp; Weeda 2007. Bessere Echtzeitinformationen für Triebfahrzeugführer und Fahrdienstleiter [Improved real-time information for drivers and controllers]. Magazine Article.</p> <p>Anon. 2007. Algorithmic methods for railway optimization – International Dagstuhl workshop 2004. Conference Proceedings.</p> <p>Barter 2004. Forecasting robustness of timetables. Conference Proceedings.</p> <p>Casson 2004. The future of the UK railway system: Michael Brooke's vision. Journal Article.</p> <p>D'Ariano &amp; Pranzo &amp; Hansen 2007. Conflict resolution and train speed coordination for solving real-time timetable perturbations. Journal Article.</p> <p>Daamen &amp; Goverde &amp; Hansen &amp; Weeda 2006. Monitoring system for reliability of transport chains. Conference Proceedings.</p> <p>Daamen &amp; Houben &amp; Goverde &amp; Hansen &amp; Weeda 2008. Monitoring system for reliability of rail transport chains. Report.</p> <p>De Fabris &amp; Longo &amp; Medeossi 2008. Automated analysis of train event recorder data to improve micro-simulation models. Conference Proceedings.</p> <p>Dejax &amp; Bookbinder 1991. Goods transportation by the French National Railway (SNCF): The measurement and marketing of reliability. Journal Article.</p> <p>Ferreira 1997. Rail track infrastructure ownership: investment and operational issues. Journal Article.</p> <p>Fioole &amp; Kroon &amp; Maróti &amp; Schrijver 2006. A rolling stock circulation model for combining and splitting of passenger trains. Journal Article.</p> <p>Gibson 2005. Incentivising operational performance on the UK rail infrastructure since 1996. Journal Article.</p> <p>He &amp; Song &amp; Chaudhry 2003. An integrated dispatching model for rail yards operations. Journal Article.</p> <p>Ieda &amp; Kanayama &amp; Ota &amp; Yamazaki &amp; Okamura 2001. How can the quality of rail services in Tokyo be further improved? Journal Article.</p> <p>Kumazawa &amp; Hara &amp; Koseki 2008. A novel train rescheduling algorithm for correcting disrupted train operations in a dense urban environment. Conference Proceedings.</p> <p>Rodrigue 2008. The Thruport concept and transmodal rail freight distribution in North America. Journal Article.</p> <p>Rodriguez 2008. An incremental decision algorithm for railway traffic optimisation in a complex station. Conference Proceedings.</p> <p>Salerno &amp; Costalli &amp; Guida 2008. Nuovo metodo di analisi dei ritardi e valutazione del "performance regime" [A new method for delay analysis and "performance regime" evaluation]. Magazine Article.</p> <p>Schmocker &amp; Cooper &amp; Adeney 2005. Metro service delay recovery: Comparison of strategies and constraints across systems. Journal Article.</p> <p>Shimizu &amp; Tanabe &amp; Honda &amp; Yasura 2006. The new Shinkansen rescheduling system for drivers and crew. Conference Proceedings.</p> <p>Sinha &amp; Rajput &amp; Asthana 1990. EXDAFS – An expert system for dynamic allocation of facilities at stations. Conference Proceedings.</p> <p>Spiess 2005. Schmierfilm auf den Schienen – Systemlösungen für das Herbstproblem [Leaves on the track – Solutions for the autumn problem using a system approach]. Journal Article.</p> <p>Van Schijndel &amp; Dinwoodie 2000. Congestion and multimodal transport: a survey of cargo transport operators in the Netherlands. Journal Article.</p>

ASIAKAS-teeman julkaisu

Osuvuus      Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)  
täsmällisyys-  
tutkimuksen  
näkökulmasta

Täysosuma      Bachman 1989. HSR vehicle performance characteristics. Journal Article.  
Bates & Polak & Jones & Cook 2001. The valuation of reliability for personal travel. Journal Article.  
Cole & Cooper 2005. Making the trains run on time: The tyranny of performance indicators. Journal Article.  
Debrincat & Goldberg & Duchâteau & Kroes & Kouwenhoven 2007. Regularity of trains in Ile de France: What does it mean to users? Journal Article.  
Fiedler 2005. Verlässlichkeit als Konkurrenzriterium [Reliability as a competitiveness criterion]. Magazine Article.  
Galetzka & Gelders & Verckens & Seydel 2008. Transparency and performance communication: a case study of Dutch Railways. Journal Article.  
Gelders & Galetzka & Verckens & Seydel 2008. Showing results? An analysis of the perceptions of internal and external stakeholders of the public performance communication by the Belgian and Dutch Railways. Journal Article.  
Heimann 1979. Determination of transit system dependability. Conference Proceedings.  
Higgins & Kozan 1998. Modeling train delays in urban networks. Journal Article.  
Houben & Rietveld & van Hagen & Daamen & Moltzer 2006. Importance of reliability for transportation chains. Subjective versus objective reliability: chances for incentives? Report.  
Jiang & Xu & Xie 2007. Train delay propagation simulation in rail transit system. Conference Proceedings.  
Jochim 2000. Verkehrswirtschaftliche Ermittlung von Qualitätsmaßstäben im Eisenbahnbetrieb [Economic determination of quality benchmarks in railway operations]. Magazine Article.  
Lampe 1991. Qualitätsmerkmal Pünktlichkeit [Punctuality – a quality feature]. Journal Article.  
Landex & Nielsen 2006. Simulation of disturbances and modelling of expected train passenger delays. Conference Proceedings.  
Rietveld & Bruinsma & Van Vuuren 2001. Coping with unreliability in public transport chains: A case study for Netherlands. Journal Article.  
Schöbel 2007. Integer programming approaches for solving the delay management problem. Conference Proceedings.  
Takagi & Goodman & Roberts 2004. Optimising departure times at a transport interchange to improve connections when services are disrupted. Conference Proceedings.  
Tomii & Tashiro & Tanabe & Hirai & Muraki 2005. Train rescheduling algorithm which minimizes passengers' dissatisfaction. Journal Article.  
Tripp & Drea 2002. Selecting and promoting service encounter elements in passenger rail transportation. Journal Article.  
Tseng & Rietveld & Verhoef 2004. A meta-analysis of valuation of travel time reliability. Report.  
Yin & Lam & Miller 2003. A simulation-based reliability assessment approach for congested transit network. Journal Article.  
Merkittävä osuma      Anderegg & Penna & Widmayer 2002. Online train disposition: To wait or not to wait? Conference Proceedings.  
Anon. 2007. Algorithmic methods for railway optimization – International Dagstuhl workshop 2004. Conference Proceedings.  
Asensio & Matas 2008. Commuters' valuation of travel time variability. Journal Article.  
Badcock 2006. More trains on TIME more often. Magazine Article.  
Bhat & Sardesai 2006. The impact of stop-making and travel time reliability on commute mode choice. Journal Article.  
Bieger & Laesser 2001. The role of the railway with regard to mode choice in medium range travel. Journal Article.  
Brons & Givoni & Rietveld 2009. Access to railway stations and its potential in increasing rail use. Journal Article.  
Casson 2004. The future of the UK railway system: Michael Brooke's vision. Journal Article.  
Csikos & Currie 2008. Investigating consistency in transit passenger arrivals – Insights from longitudinal automated fare collection data. Journal Article.  
Evans & Morrison 1997. Incorporating accident risk and disruption in economic models of public transport. Journal Article.  
Ginkel & Schöbel 2007. To wait or not to wait? The bicriteria delay management problem in public transportation. Journal Article.  
Goodman & Murata 2001. Metro traffic regulation from the passenger perspective. Journal Article.  
Ieda & Kanayama & Ota & Yamazaki & Okamura 2001. How can the quality of rail services in Tokyo be further improved? Journal Article.  
Johnson & Nelson 1991. Market response to changes in attributes of a long-distance passenger rail service. Journal Article.  
Krulle & Loh 2004. RIS-mobile – Informationsversorgung über mobile Endgeräte [RIS-mobile – Providing information via mobile terminals]. Magazine Article.  
Kumazawa & Hara & Koseki 2008. A novel train rescheduling algorithm for correcting disrupted train operations in a dense urban environment. Conference Proceedings.  
Lam & Cheung & Lam 1999. A study of crowding effects at the Hong Kong light rail transit stations. Journal Article.  
Liu & Gao 2007. Study on railway transport service quality evaluation. Conference Proceedings.  
McTavish & Maidment 1989. Quality monitoring in British Rail. Magazine Article.  
Murata & Goodman 1998. Optimally regulating disturbed metro traffic with passenger inconvenience in mind. Conference Proceedings.  
Noland & Polak 2002. Travel time variability: a review of theoretical and empirical issues. Journal Article.  
Sagareli 2004. Traction power systems reliability concepts. Conference Proceedings.  
Seewald 2002. Railroads fail to deliver on service. Journal Article.  
Törnquist & Gustafsson 2004. Perceived benefits of improved information exchange – a case study on rail and intermodal transports. Journal Article.  
Trotter 1987. Measuring the quality of service: a note on British Rail's 'Q-Statistic'. Journal Article.  
Ueda & Goodman & Sone 2004. Introduction of halt discomfort in the objective criteria of regulation for metro type railways. Conference Proceedings.  
Van Schijndel & Dinwoodie 2000. Congestion and multimodal transport: a survey of cargo transport operators in the Netherlands. Journal Article.



## MATKUSTAJALIIKENNE-teeman julkaisu (1)

Osuuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)  
tasmällisyys-  
tutkimuksen  
näkökulmasta

Täysosuma

Bachman 1989. HSR vehicle performance characteristics. Journal Article.

Carey 1994. Reliability of interconnected scheduled services. Journal Article.

Cavana & Corbett & Lo 2007. Developing zones of tolerance for managing passenger rail service quality. Journal Article.

Cicerone & D'Angelo & Di Stefano & Frigioni & Navarra 2008. Delay management problem: Complexity results and robust algorithms. Conference Proceedings.

Claesson & Dahl & Lindh 1989. Value of reliability in passenger train operations. Magazine Article.

Debrincat & Goldberg & Duchâteau & Kroes & Kouwenhoven 2007. Regularity of trains in Ile de France: What does it mean to users? Journal Article.

Demitz & Hübschen & Albrecht 2004. Timetable stability - Using simulation to ensure quality in a regular interval timetable. Conference Proceedings.

Fiedler 2005. Verlässlichkeit als Konkurrenzriterium [Reliability as a competitiveness criterion]. Magazine Article.

Fukami & Yamamoto & Hatanaka & Terada 2006. A new delay forecasting system for the Passenger Information Control system (PIC) of the Tokaido-Sanyo Shinkansen. Conference Proceedings.

Gatto & Glaus & Jacob & Peeters & Widmayer 2004. Railway delay management: Exploring its algorithmic complexity. Journal Article.

Gatto & Jacob & Peeters & Widmayer 2007. Online delay management on a single train line. Conference Proceedings.

Gelders & Galetzka & Verckens & Seydel 2008. Showing results? An analysis of the perceptions of internal and external stakeholders of the public performance communication by the Belgian and Dutch Railways. Journal Article.

Giannopoulos 1985. Travel time and delay factors on Greek railways: an analysis of the existing situation and proposals for short-term improvements. Magazine Article.

Guarnieri 1980. L'esercizio ferroviario: il servizio viaggiatori, con particolare riferimento ai problemi del nodo di Milano [Railway operation: The passenger service with particular reference to the problems of the railway center of Milan]. Magazine Article.

Heimann 1979. Determination of transit system dependability. Conference Proceedings.

Higgins & Kozan 1998. Modeling train delays in urban networks. Journal Article.

Houben & Rietveld & van Hagen & Daamen & Moltzer 2006. Importance of reliability for transportation chains. Subjective versus objective reliability: chances for incentives? Report.

Jiang & Xu & Xie 2007. Train delay propagation simulation in rail transit system. Conference Proceedings.

Jochim 2000. Verkehrswirtschaftliche Ermittlung von Qualitätsmaßstäben im Eisenbahnbetrieb [Economic determination of quality benchmarks in railway operations]. Magazine Article.

Kroon & Maróti & Helmrich & Vromans & Dekker 2008. Stochastic improvement of cyclic railway timetables. Journal Article.

Lampe 1991. Qualitätsmerkmal Pünktlichkeit [Punctuality - a quality feature]. Journal Article.

Landex & Nielsen 2006. Simulation of disturbances and modelling of expected train passenger delays. Conference Proceedings.

Lindfeldt 2008. Evaluation of punctuality on a heavily utilised railway line with mixed traffic. Conference Proceedings.

Nash & Weidmann & Bollinger & Luethi & Buchmueller 2006. Increasing schedule reliability on the S-Bahn in Zurich, Switzerland computer analysis and simulation. Journal Article.

Nathanail 2008. Measuring the quality of service for passengers on the Hellenic railways. Journal Article.

Nelson & O'Neil 2000. Commuter rail service reliability: On-time performance and causes for delays. Journal Article.

Nuzzolo & Crisalli & Gangemi 2000. A behavioural choice model for the evaluation of railway supply and pricing policies. Journal Article.

Olsson & Haugland 2004. Influencing factors on train punctuality - results from some Norwegian studies. Journal Article.

Rietveld & Bruinsma & Van Vuuren 2001. Coping with unreliability in public transport chains: A case study for Netherlands. Journal Article.

Takagi & Goodman & Roberts 2004. Optimising departure times at a transport interchange to improve connections when services are disrupted. Conference Proceedings.

Tomii & Tashiro & Tanabe & Hirai & Muraki 2005. Train rescheduling algorithm which minimizes passengers' dissatisfaction. Journal Article.

Tripp & Drea 2002. Selecting and promoting service encounter elements in passenger rail transportation. Journal Article.

Tseng & Rietveld & Verhoef 2004. A meta-analysis of valuation of travel time reliability. Report.

Vansteenkoven & Van Oudheusden 2007. Decreasing the passenger waiting time for an intercity rail network. Journal Article.

Vromans & Dekker & Kroon 2006. Reliability and heterogeneity of railway services. Journal Article.

Yin & Lam & Miller 2003. A simulation-based reliability assessment approach for congested transit network. Journal Article.

Yuan 2004. An analytical model for estimating the propagation of train delays in complex station areas. Conference Proceedings.

Yuan 2007. Dealing with stochastic dependence in the modeling of train delays and delay propagation. Conference Proceedings.

Yuan & Goverde & Hansen 2002. Propagation of train delays in stations. Conference Proceedings.

Yuan & Hansen 2002. Punctuality of train traffic in Dutch railway stations. Conference Proceedings.

## MATKUSTAJALIIKENNE-teeman julkaisuja (2)

Osuvuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)

täsmällisyys-

tutkimuksen

näkökulmasta

Merkittävä

osuma

- Anderegg & Penna & Widmayer 2002. Online train disposition: To wait or not to wait? Conference Proceedings.
- Anon. 2007. Algorithmic methods for railway optimization – International Dagstuhl workshop 2004. Conference Proceedings.
- Asensio & Matas 2008. Commuters' valuation of travel time variability. Journal Article.
- Badcock 2006. More trains on TIME more often. Magazine Article.
- Bhat & Sardesai 2006. The impact of stop-making and travel time reliability on commute mode choice. Journal Article.
- Bieger & Laesser 2001. The role of the railway with regard to mode choice in medium range travel. Journal Article.
- Brons & Givoni & Rietveld 2009. Access to railway stations and its potential in increasing rail use. Journal Article.
- Carey & Kwiecinski 1995. Properties of expected costs and performance measures in stochastic models of scheduled transport. Journal Article.
- Chakroborty & Vikram 2008. Optimum assignment of trains to platforms under partial schedule compliance. Journal Article.
- Chang & Hsu 2001. Modeling passenger waiting time for intermodal transit stations. Journal Article.
- Chang & Hsu 2003. Modeling of passenger waiting time in intermodal station with constrained capacity on intercity transit. Journal Article.
- Csikos & Currie 2008. Investigating consistency in transit passenger arrivals – Insights from longitudinal automated fare collection data. Journal Article.
- Daamen & Goverde & Hansen & Weeda 2006. Monitoring system for reliability of transport chains. Conference Proceedings.
- Daamen & Houben & Goverde & Hansen & Weeda 2008. Monitoring system for reliability of rail transport chains. Report.
- Ding & Chien 2001. Improving transit service quality and headway regularity with real-time control. Journal Article.
- Dure 1999. Maximizing operating reliability in design of long single-track light rail transit lines. Journal Article.
- Engelhardt-Funke & Kolonko 2004. Analysing stability and investments in railway networks using advanced evolutionary algorithms. Journal Article.
- Evans & Morrison 1997. Incorporating accident risk and disruption in economic models of public transport. Journal Article.
- Fearnley & Bekken & Norheim 2004. Optimal performance-based subsidies in Norwegian intercity rail transport. Journal Article.
- Fioole & Kroon & Maróti & Schrijver 2006. A rolling stock circulation model for combining and splitting of passenger trains. Journal Article.
- Ginkel & Schöbel 2007. To wait or not to wait? The bicriteria delay management problem in public transportation. Journal Article.
- Hirai & Tomii 1998. Evaluation of train interval adjustment algorithms for congested metropolitan railway lines. Journal Article.
- Ieda & Kanayama & Ota & Yamazaki & Okamura 2001. How can the quality of rail services in Tokyo be further improved? Journal Article.
- Johnson & Nelson 1991. Market response to changes in attributes of a long-distance passenger rail service. Journal Article.
- Krulle & Loh 2004. RIS-mobile – Informationsversorgung über mobile Endgeräte [RIS-mobile – Providing information via mobile terminals]. Magazine Article.
- Kumazawa & Hara & Koseki 2008. A novel train rescheduling algorithm for correcting disrupted train operations in a dense urban environment. Conference Proceedings.
- Lam & Cheung & Lam 1999. A study of crowding effects at the Hong Kong light rail transit stations. Journal Article.
- Lindfeldt 2007. Quality on single-track railway lines with passenger traffic: Analytical model for evaluation of crossing stations and partial double-tracks. Dissertation/Thesis.
- Liu & Gao 2007. Study on railway transport service quality evaluation. Conference Proceedings.
- Milan 1996. The Trans European Railway Network: Three levels of services for the passengers. Journal Article.
- Milan 1997. Comparison of the quality of rail and air networks in West, Central and Eastern Europe. Journal Article.
- Murata & Goodman 1998. Optimally regulating disturbed metro traffic with passenger inconvenience in mind. Conference Proceedings.
- Noland & Polak 2002. Travel time variability: a review of theoretical and empirical issues. Journal Article.
- Olsson 2006. Impact analysis of railway projects in a flexibility perspective. Journal Article.
- Petersen & Taylor 1987. Design of single-track rail line for high-speed trains. Journal Article.
- Schmocker & Cooper & Adeney 2005. Metro service delay recovery: Comparison of strategies and constraints across systems. Journal Article.
- Shimizu & Tanabe & Honda & Yasura 2006. The new Shinkansen rescheduling system for drivers and crew. Conference Proceedings.
- Trotter 1987. Measuring the quality of service: a note on British Rail's 'Q-Statistic'. Journal Article.
- Ueda & Goodman & Sone 2004. Introduction of halt discomfort in the objective criteria of regulation for metro type railways. Conference Proceedings.



## TAVARALIIKENNE-teeman julkaisuja

Osuuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)  
täsmällisyys-  
tutkimuksen  
näkökulmasta

Täysosuma	<p>Claesson &amp; Dahl &amp; Lindh 1989. Value of reliability in passenger train operations. Magazine Article.</p> <p>Giannopoulos 1985. Travel time and delay factors on Greek railways: an analysis of the existing situation and proposals for short-term improvements. Magazine Article.</p> <p>Gorman 2009. Statistical estimation of railroad congestion delay. Journal Article.</p> <p>Lindfeldt 2008. Evaluation of punctuality on a heavily utilised railway line with mixed traffic. Conference Proceedings.</p> <p>Tadi &amp; Palaniswamy 1984. Comparison of various freight train dispatching policies for Indian railways. Journal Article.</p> <p>Vromans &amp; Dekker &amp; Kroon 2006. Reliability and heterogeneity of railway services. Journal Article.</p>
Merkittävä osuma	<p>Dejax &amp; Bookbinder 1991. Goods transportation by the French National Railway (SNCF): The measurement and marketing of reliability. Journal Article.</p> <p>Ferreira 1997. Rail track infrastructure ownership: investment and operational issues. Journal Article.</p> <p>Hallowell &amp; Harker 1998. Predicting on-time performance in scheduled railroad operations: methodology and application to train scheduling. Journal Article.</p> <p>He &amp; Song &amp; Chaudhry 2003. An integrated dispatching model for rail yards operations. Journal Article.</p> <p>Rodrigue 2008. The Thruport concept and transmodal rail freight distribution in North America. Journal Article.</p> <p>Seewald 2002. Railroads fail to deliver on service. Journal Article.</p> <p>Törnquist &amp; Gustafsson 2004. Perceived benefits of improved information exchange – a case study on rail and intermodal transports. Journal Article.</p> <p>Van Schijndel &amp; Dinwoodie 2000. Congestion and multimodal transport: a survey of cargo transport operators in the Netherlands. Journal Article.</p>

## MATKA- JA KULJETUSKETJUT -teeman julkaisuja

Osuuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)  
täsmällisyys-  
tutkimuksen  
näkökulmasta

Täysosuma	<p>Carey 1994. Reliability of interconnected scheduled services. Journal Article.</p> <p>Houben &amp; Rietveld &amp; van Hagen &amp; Daamen &amp; Moltzer 2006. Importance of reliability for transportation chains. Subjective versus objective reliability: chances for incentives? Report.</p> <p>Rietveld &amp; Bruinsma &amp; Van Vuuren 2001. Coping with unreliability in public transport chains: A case study for Netherlands. Journal Article.</p> <p>Takagi &amp; Goodman &amp; Roberts 2004. Optimising departure times at a transport interchange to improve connections when services are disrupted. Conference Proceedings.</p>
Merkittävä osuma	<p>Brons &amp; Givoni &amp; Rietveld 2009. Access to railway stations and its potential in increasing rail use. Journal Article.</p> <p>Chang &amp; Hsu 2001. Modeling passenger waiting time for intermodal transit stations. Journal Article.</p> <p>Chang &amp; Hsu 2003. Modeling of passenger waiting time in intermodal station with constrained capacity on intercity transit. Journal Article.</p> <p>Daamen &amp; Goverde &amp; Hansen &amp; Weeda 2006. Monitoring system for reliability of transport chains. Conference Proceedings.</p> <p>Daamen &amp; Houben &amp; Goverde &amp; Hansen &amp; Weeda 2008. Monitoring system for reliability of rail transport chains. Report.</p> <p>Dejax &amp; Bookbinder 1991. Goods transportation by the French National Railway (SNCF): The measurement and marketing of reliability. Journal Article.</p> <p>Ginkel &amp; Schöbel 2007. To wait or not to wait? The bicriteria delay management problem in public transportation. Journal Article.</p> <p>Rodrigue 2008. The Thruport concept and transmodal rail freight distribution in North America. Journal Article.</p> <p>Van Schijndel &amp; Dinwoodie 2000. Congestion and multimodal transport: a survey of cargo transport operators in the Netherlands. Journal Article.</p>

# MATEMAATTISET JA TILASTOLLISET MENETELMÄT -teeman julkaisuja (1)

Osuuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)

täsmällisyys-  
tutkimuksen  
näkökulmasta

Täysosuma

- Briggs & Beck 2007. Modelling train delays with q-exponential functions. Journal Article.
- Carey 1999. Ex ante heuristic measures of schedule reliability. Journal Article.
- Carey & Kwiecinski 1994. Stochastic approximation to the effects of headways on knock-on delays of trains. Journal Article.
- Chen & Harker 1990. Two moments estimation of the delay on single-track rail lines with scheduled traffic. Journal Article.
- Cicerone & D'Angelo & Di Stefano & Frigioni & Navarra 2008. Delay management problem: Complexity results and robust algorithms. Conference Proceedings.
- D'Ariano & Albrecht 2006. Running time re-optimization during real-time timetable perturbations. Conference Proceedings.
- Daamen & Goverde & Hansen 2009. Non-discriminatory automatic registration of knock-on train delays. Journal Article.
- Gatto & Glaus & Jacob & Peeters & Widmayer 2004. Railway delay management: Exploring its algorithmic complexity. Journal Article.
- Gatto & Jacob & Peeters & Widmayer 2007. Online delay management on a single train line. Conference Proceedings.
- Giannopoulos 1985. Travel time and delay factors on Greek railways: an analysis of the existing situation and proposals for short-term improvements. Magazine Article.
- Gorman 2009. Statistical estimation of railroad congestion delay. Journal Article.
- Goverde 2000. Delay estimation and filtering of train detection data. Conference Proceedings.
- Goverde 2005. Punctuality of railway operations and timetable stability analysis. Dissertation/Thesis.
- Guarnieri 1980. L'esercizio ferroviario: il servizio viaggiatori, con particolare riferimento ai problemi del nodo di Milano [Railway operation: The passenger service with particular reference to the problems of the railway center of Milan]. Magazine Article.
- Hasegawa & Konya & Shinohara 1981. Macro-model on propagation-disappearance process of train delays. Journal Article.
- Higgins & Kozan 1998. Modeling train delays in urban networks. Journal Article.
- Jovanovic 1989. Improving railroad on-time performance: Models, algorithms and applications. Dissertation/Thesis.
- Kaas 2000. Punctuality model for railways. Conference Proceedings.
- Kroon & Maróti & Helmrich & Vromans & Dekker 2008. Stochastic improvement of cyclic railway timetables. Journal Article.
- Landex & Nielsen 2006. Simulation of disturbances and modelling of expected train passenger delays. Conference Proceedings.
- Lindfeldt 2006. Influences of station length and inter-station distance on delays and delay propagation on single-track lines with regional rail traffic. Conference Proceedings.
- Lindfeldt 2008. Evaluation of punctuality on a heavily utilised railway line with mixed traffic. Conference Proceedings.
- Mao & Yang & Wang 1998. Statistical and simulation-based models for progression prediction of train delays on busy railway lines. Conference Proceedings.
- Mattsson 2007. Railway capacity and train delay relationships. Book, Section.
- Meester & Muns 2007. Stochastic delay propagation in railway networks and phase-type distributions. Journal Article.
- Mühlhans 1990. Berechnung der Verspätungsentwicklung bei Zugfahrten [Calculating the late-running development in train operation]. Magazine Article.
- Nash & Weidmann & Bollinger & Luethi & Buchmueller 2006. Increasing schedule reliability on the S-Bahn in Zurich, Switzerland computer analysis and simulation. Journal Article.
- Nelson & O'Neil 2000. Commuter rail service reliability: On-time performance and causes for delays. Journal Article.
- Olsson & Haugland 2004. Influencing factors on train punctuality – results from some Norwegian studies. Journal Article.
- Peters & Emig & Jung & Schmidt 2005. Prediction of delays in public transportation using neural networks. Conference Proceedings.
- Rietveld & Bruinsma & Van Vuuren 2001. Coping with unreliability in public transport chains: A case study for Netherlands. Journal Article.
- Schöbel 2007. Integer programming approaches for solving the delay management problem. Conference Proceedings.
- Tadi & Palaniswamy 1984. Comparison of various freight train dispatching policies for Indian railways. Journal Article.
- Takagi & Goodman & Roberts 2004. Optimising departure times at a transport interchange to improve connections when services are disrupted. Conference Proceedings.
- Takagi & Weston & Goodman & Bouch & Armstrong & Preston & Sone 2006. Optimal train control at a junction in the main line rail network using a new object-oriented signalling system model. Conference Proceedings.
- Tomii & Tashiro & Tanabe & Hirai & Muraki 2005. Train rescheduling algorithm which minimizes passengers' dissatisfaction. Journal Article.
- Tseng & Rietveld & Verhoef 2004. A meta-analysis of valuation of travel time reliability. Report.
- Vansteenkoven & Van Oudheusden 2007. Decreasing the passenger waiting time for an intercity rail network. Journal Article.
- Veiseth & Olsson & Saetermo 2007. Infrastructure's influence on rail punctuality. Conference Proceedings.
- Vromans 2005. Reliability of railway systems. Dissertation/Thesis.
- Yin & Lam & Miller 2003. A simulation-based reliability assessment approach for congested transit network. Journal Article.
- Yuan 2004. An analytical model for estimating the propagation of train delays and delay propagation in stations. Conference Proceedings.
- Yuan 2006. Stochastic modelling of train delays and delay propagation in stations. Dissertation/Thesis.
- Yuan 2007. Dealing with stochastic dependence in the modeling of train delays and delay propagation. Conference Proceedings.
- Yuan & Goverde & Hansen 2002. Propagation of train delays in stations. Conference Proceedings.
- Yuan & Goverde & Hansen 2006. Evaluating stochastic train process time distribution models on the basis of empirical detection data. Conference Proceedings.
- Yuan & Hansen 2002. Punctuality of train traffic in Dutch railway stations. Conference Proceedings.
- Yuan & Hansen 2004. Analysis of scheduled and real capacity utilisation at a major Dutch Railway station. Conference Proceedings.
- Yuan & Hansen 2007. Optimizing capacity utilization of stations by estimating knock-on train delays. Journal Article.
- Yuan & Hansen 2008. Closed form expressions of optimal buffer times between scheduled trains at railway bottlenecks. Conference Proceedings.



# MATEMAATTISET JA TILASTOLLISET MENETELMÄT -teeman julkaisuja (2)

Osuuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)  
tasmällisyy-  
tutkimuksen  
näkökulmasta

Merkittävä  
osuma

Anderegg & Penna & Widmayer 2002. Online train disposition: To wait or not to wait? Conference Proceedings.  
Anon. 2007. Algorithmic methods for railway optimization – International Dagstuhl workshop 2004. Conference Proceedings.  
Asensio & Matas 2008. Commuters' valuation of travel time variability. Journal Article.  
Bandara & Ekanayake 2003. Train scheduling simulation that minimises operational conflicts due to service constraints. Journal Article.  
Barter 2004. Forecasting robustness of timetables. Conference Proceedings.  
Bhat & Sardesai 2006. The impact of stop-making and travel time reliability on commute mode choice. Journal Article.  
Bieger & Laesser 2001. The role of the railway with regard to mode choice in medium range travel. Journal Article.  
Carey & Carville 2003. Scheduling and platforming trains at busy complex stations. Journal Article.  
Carey & Kwiecinski 1995. Properties of expected costs and performance measures in stochastic models of scheduled transport. Journal Article.  
Chandesris 2006. Statistical method for the evaluation of railway systems modifications. Conference Proceedings.  
Chang & Hsu 2001. Modeling passenger waiting time for intermodal transit stations. Journal Article.  
Chang & Hsu 2003. Modeling of passenger waiting time in intermodal station with constrained capacity on intercity transit. Journal Article.  
D'Ariano 2008. Improving real-time train dispatching: models, algorithms and applications. Dissertation/Thesis.  
Daamen & Goverde & Hansen & Weeda 2006. Monitoring system for reliability of transport chains. Conference Proceedings.  
Daamen & Houben & Goverde & Hansen & Weeda 2008. Monitoring system for reliability of rail transport chains. Report.  
De Fabris & Longo & Medeossi 2008. Automated analysis of train event recorder data to improve micro-simulation models. Conference Proceedings.  
Engelhardt-Funke & Kolonko 2004. Analysing stability and investments in railway networks using advanced evolutionary algorithms. Journal Article.  
Evans & Morrison 1997. Incorporating accident risk and disruption in economic models of public transport. Journal Article.  
Fiolo & Kroon & Maróti & Schrijver 2006. A rolling stock circulation model for combining and splitting of passenger trains. Journal Article.  
Furth 1995. Headway control strategy for recovering from transit vehicle delays. Conference Proceedings.  
Ginkel & Schöbel 2007. To wait or not to wait? The bicriteria delay management problem in public transportation. Journal Article.  
Goodman & Murata 2001. Metro traffic regulation from the passenger perspective. Journal Article.  
Goverde 2007. Railway timetable stability analysis using max-plus system theory. Journal Article.  
Hallowell & Harker 1998. Predicting on-time performance in scheduled railroad operations: methodology and application to train scheduling. Journal Article.  
Hansen 2000. Station capacity and stability of train operations. Conference Proceedings.  
Hansen 2006. State-of-the-art of railway operations research. Conference Proceedings.  
He & Song & Chaudhry 2003. An integrated dispatching model for rail yards operations. Journal Article.  
Heidergott & Vries 2001. Towards a (max,+) control theory for public transportation networks. Journal Article.  
Higgins & Kozan & Ferreira 1997. Modelling the number and location of sidings on a single line railway. Journal Article.  
Hirai & Tomii 1998. Evaluation of train interval adjustment algorithms for congested metropolitan railway lines. Journal Article.  
Ho & Norton & Goodman 1997. Optimal traffic control at railway junctions. Journal Article.  
Huisman & Boucherie 2001. Running times on railway sections with heterogeneous train traffic. Journal Article.  
Jia & Chen & Ho & Mao & Bai 2008. A heuristic algorithm for fixed train runtime. Conference Proceedings.  
Johnson & Nelson 1991. Market response to changes in attributes of a long-distance passenger rail service. Journal Article.  
Kumazawa & Hara & Koseki 2008. A novel train rescheduling algorithm for correcting disrupted train operations in a dense urban environment. Conference Proceedings.  
Lam & Cheung & Lam 1999. A study of crowding effects at the Hong Kong light rail transit stations. Journal Article.  
Lee & Sheng & Guo 1993. Fast and reliable algorithm for railway train routing. Conference Proceedings.  
Liu & He & Wang & An 2007. Stochastic chance constrained programming model and solution of marshalling station dispatching plan. Journal Article.  
Murata & Goodman 1998. Optimally regulating disturbed metro traffic with passenger inconvenience in mind. Conference Proceedings.  
Noland & Polak 2002. Travel time variability: a review of theoretical and empirical issues. Journal Article.  
Petersen & Taylor 1987. Design of single-track rail line for high-speed trains. Journal Article.  
Ricci & Tieri 2008. A Petri nets based decision support tool for railway traffic conflicts forecasting and resolution. Conference Proceedings.  
Rodriguez 2008. An incremental decision algorithm for railway traffic optimisation in a complex station. Conference Proceedings.  
Sagareli 2004. Traction power systems reliability concepts. Conference Proceedings.  
Sakowitz & Wendler 2006. Optimising train priorities to support the regulation of train services with the assistance of active and deductive databases. Conference Proceedings.  
Törnquist 2007. Railway traffic disturbance management – An experimental analysis of disturbance complexity, management objectives and limitations in planning horizon. Journal Article.  
Ueda & Goodman & Sone 2004. Introduction of halt discomfort in the objective criteria of regulation for metro type railways. Conference Proceedings.  
van den Boom & De Schutter 2004. Modeling and control of railway networks. Conference Proceedings.  
Wendler & Nießen 2008. Stochastische Modelle in der Eisenbahnbetriebswissenschaft [Stochastic models in railway operations research]. Journal Article.  
Zhang & Xu & Zhao 2008. The application of dynamic planning algorithm in automatic adjustment of train operation stage schedule for railway junction. Conference Proceedings.  
Zio & Marella & Podofilini 2007. Importance measures-based prioritization for improving the performance of multi-state systems: application to the railway industry. Journal Article.



## MALLINTAMINEN-teeman julkaisuja (1)

Osuuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)  
 täsmällisyys-  
 tutkimuksen  
 näkökulmasta

Täysosuma	Briggs & Beck 2007. Modelling train delays with q-exponential functions. Journal Article.
	Carey 1999. Ex ante heuristic measures of schedule reliability. Journal Article.
	Carey & Carville 2000. Testing schedule performance and reliability for train stations. Journal Article.
	Carey & Kwiecinski 1994. Stochastic approximation to the effects of headways on knock-on delays of trains. Journal Article.
	Carey & Kwiecinski 1994. Swapping the order of scheduled services to minimize expected costs of delays. Journal Article.
	Chen & Harker 1990. Two moments estimation of the delay on single-track rail lines with scheduled traffic. Journal Article.
	D'Ariano & Albrecht 2006. Running time re-optimization during real-time timetable perturbations. Conference Proceedings.
	D'Ariano & Pacciarelli & Pranzo 2008. Assessment of flexible timetables in real-time traffic management of a railway bottleneck. Journal Article.
	Fukami & Yamamoto & Hatanaka & Terada 2006. A new delay forecasting system for the Passenger Information Control system (PIC) of the Tokaido-Sanyo Shinkansen. Conference Proceedings.
	Gatto & Glaus & Jacob & Peeters & Widmayer 2004. Railway delay management: Exploring its algorithmic complexity. Journal Article.
	Gatto & Jacob & Peeters & Widmayer 2007. Online delay management on a single train line. Conference Proceedings.
	Goverde & Daamen & Hansen 2008. Automatic identification of route conflict occurrences and their consequences. Conference Proceedings.
	Hansen & Yuan 2006. Stochastic modeling of delay propagation at railway stations and junctions. Conference Proceedings.
	Hasegawa & Konya & Shinohara 1981. Macro-model on propagation-disappearance process of train delays. Journal Article.
	Higgins & Kozan 1998. Modeling train delays in urban networks. Journal Article.
	Higgins & Kozan & Ferreira 1995. Modelling delay risks associated with train schedules. Journal Article.
	Jiang & Xu & Xie 2007. Train delay propagation simulation in rail transit system. Conference Proceedings.
	Jovanovic 1989. Improving railroad on-time performance: Models, algorithms and applications. Dissertation/Thesis.
	Kaas 2000. Punctuality model for railways. Conference Proceedings.
	Kroon & Maróti & Helmrich & Vromans & Dekker 2008. Stochastic improvement of cyclic railway timetables. Journal Article.
	Landex & Nielsen 2006. Simulation of disturbances and modelling of expected train passenger delays. Conference Proceedings.
	Lindfeldt 2006. Influences of station length and inter-station distance on delays and delay propagation on single-track lines with regional rail traffic. Conference Proceedings.
	Lindfeldt 2008. Evaluation of punctuality on a heavily utilised railway line with mixed traffic. Conference Proceedings.
	Mao & Yang & Wang 1998. Statistical and simulation-based models for progression prediction of train delays on busy railway lines. Conference Proceedings.
	Mattsson 2007. Railway capacity and train delay relationships. Book, Section.
	Meester & Muns 2007. Stochastic delay propagation in railway networks and phase-type distributions. Journal Article.
	Mühlhans 1990. Berechnung der Verspätungsentwicklung bei Zugfahrten [Calculating the late-running development in train operation]. Magazine Article.
	Nash & Weidmann & Bollinger & Luethi & Buchmueller 2006. Increasing schedule reliability on the S-Bahn in Zurich, Switzerland computer analysis and simulation. Journal Article.
	Nuzzolo & Crisalli & Gangemi 2000. A behavioural choice model for the evaluation of railway supply and pricing policies. Journal Article.
	Peters & Emig & Jung & Schmidt 2005. Prediction of delays in public transportation using neural networks. Conference Proceedings.
	Schöbel 2007. Integer programming approaches for solving the delay management problem. Conference Proceedings.
	Takagi & Goodman & Roberts 2004. Optimising departure times at a transport interchange to improve connections when services are disrupted. Conference Proceedings.
	Takagi & Weston & Goodman & Bouch & Armstrong & Preston & Sone 2006. Optimal train control at a junction in the main line rail network using a new object-oriented signalling system model. Conference Proceedings.
	Tripp & Drea 2002. Selecting and promoting service encounter elements in passenger rail transportation. Journal Article.
	Tseng & Rietveld & Verhoef 2004. A meta-analysis of valuation of travel time reliability. Report.
	Veiseth & Olsson & Saetermo 2007. Infrastructure's influence on rail punctuality. Conference Proceedings.
	Vromans 2005. Reliability of railway systems. Dissertation/Thesis.
	Weeda & Wiggendaad 2006. Joint design standard for running times, dwell times and headway times. Conference Proceedings.
	Xun & Ning & Li 2007. Network-based train-following model and study of train's delay propagation. Journal Article.
	Yuan 2004. An analytical model for estimating the propagation of train delays in complex station areas. Conference Proceedings.
	Yuan 2006. Stochastic modelling of train delays and delay propagation in stations. Dissertation/Thesis.
	Yuan 2007. Dealing with stochastic dependence in the modeling of train delays and delay propagation. Conference Proceedings.
	Yuan & Goverde & Hansen 2002. Propagation of train delays in stations. Conference Proceedings.
	Yuan & Goverde & Hansen 2006. Evaluating stochastic train process time distribution models on the basis of empirical detection data. Conference Proceedings.
	Yuan & Hansen 2002. Punctuality of train traffic in Dutch railway stations. Conference Proceedings.
	Yuan & Hansen 2007. Optimizing capacity utilization of stations by estimating knock-on train delays. Journal Article.
	Yuan & Hansen 2008. Closed form expressions of optimal buffer times between scheduled trains at railway bottlenecks. Conference Proceedings.
	Zhou & Gao & Li 2006. Cellular automaton model for moving-like block system and study of train's delay propagation. Journal Article.



## MALLINTAMINEN-teeman julkaisuja (2)

Osuuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)  
täsmällisyys-  
tutkimuksen  
näkökulmasta

- Merkittävä  
osuma
- Albrecht & Goverde & Weeda & Van Luipen 2006. Reconstruction of train trajectories from track occupation data to determine the effects of a Driver Information System. Conference Proceedings.
- Anon. 2007. Algorithmic methods for railway optimization – International Dagstuhl workshop 2004. Conference Proceedings.
- Asensio & Matas 2008. Commuters' valuation of travel time variability. Journal Article.
- Bandara & Ekanayake 2003. Train scheduling simulation that minimises operational conflicts due to service constraints. Journal Article.
- Barter 2004. Forecasting robustness of timetables. Conference Proceedings.
- Bhat & Sardesai 2006. The impact of stop-making and travel time reliability on commute mode choice. Journal Article.
- Bluvband & Barel & Zule 1997. IQLM: application for rail systems. Conference Proceedings.
- Carey & Carville 2003. Scheduling and platforming trains at busy complex stations. Journal Article.
- Carey & Kwiecinski 1995. Properties of expected costs and performance measures in stochastic models of scheduled transport. Journal Article.
- Chakroborty & Vikram 2008. Optimum assignment of trains to platforms under partial schedule compliance. Journal Article.
- Chang & Hsu 2001. Modeling passenger waiting time for intermodal transit stations. Journal Article.
- Chang & Hsu 2003. Modeling of passenger waiting time in intermodal station with constrained capacity on intercity transit. Journal Article.
- D'Ariano 2008. Improving real-time train dispatching: models, algorithms and applications. Dissertation/Thesis.
- D'Ariano & Pranzo & Hansen 2007. Conflict resolution and train speed coordination for solving real-time timetable perturbations. Journal Article.
- De Fabris & Longo & Medeossi 2008. Automated analysis of train event recorder data to improve micro-simulation models. Conference Proceedings.
- De Schutter & van den Boom & Hegyi 2002. Model predictive control approach for recovery from delays in railway systems. Journal Article.
- Delorme & Gandibleux & Rodriguez 2009. Stability evaluation of a railway timetable at station level. Journal Article.
- Dure 1999. Maximizing operating reliability in design of long single-track light rail transit lines. Journal Article.
- Engelhardt-Funke & Kolonko 2004. Analysing stability and investments in railway networks using advanced evolutionary algorithms. Journal Article.
- Evans & Morrison 1997. Incorporating accident risk and disruption in economic models of public transport. Journal Article.
- Fay 2000. A fuzzy knowledge-based system for railway traffic control. Journal Article.
- Ferreira & Higgins 1998. Scheduling rail track maintenance. Conference Proceedings.
- Fiolo & Kroon & Maróti & Schrijver 2006. A rolling stock circulation model for combining and splitting of passenger trains. Journal Article.
- Florio & Malavasi & Salvini 1985. Analisi dei ritardi e verifica di un nodo ferroviario complesso [Analysis of delays and verification of a complex rail junction]. Magazine Article.
- Ginkel & Schöbel 2007. To wait or not to wait? The bicriteria delay management problem in public transportation. Journal Article.
- Goodman & Murata 2001. Metro traffic regulation from the passenger perspective. Journal Article.
- Goverde 2007. Railway timetable stability analysis using max-plus system theory. Journal Article.
- Greenberg & Leachman & Wolff 1988. Predicting dispatching delays on a low speed, single track railroad. Journal Article.
- Hallowell & Harker 1998. Predicting on-time performance in scheduled railroad operations: methodology and application to train scheduling. Journal Article.
- Hansen 2006. State-of-the-art of railway operations research. Conference Proceedings.
- He & Song & Chaudhry 2003. An integrated dispatching model for rail yards operations. Journal Article.
- Heidergott & Vries 2001. Towards a (max,+) control theory for public transportation networks. Journal Article.
- Higgins & Kozan & Ferreira 1997. Modelling the number and location of sidings on a single line railway. Journal Article.
- Ho & Norton & Goodman 1997. Optimal traffic control at railway junctions. Journal Article.
- Huisman & Boucherie 2001. Running times on railway sections with heterogeneous train traffic. Journal Article.
- Jia & Chen & Ho & Mao & Bai 2008. A heuristic algorithm for fixed train runtime. Conference Proceedings.
- Johnson & Nelson 1991. Market response to changes in attributes of a long-distance passenger rail service. Journal Article.
- Kumazawa & Hara & Koseki 2008. A novel train rescheduling algorithm for correcting disrupted train operations in a dense urban environment. Conference Proceedings.
- Lam & Cheung & Lam 1999. A study of crowding effects at the Hong Kong light rail transit stations. Journal Article.
- Lee 1998. Delay analysis for train operation. Conference Proceedings.
- Lee & Sheng & Guo 1993. Fast and reliable algorithm for railway train routing. Conference Proceedings.
- Lindfeldt 2007. Quality on single-track railway lines with passenger traffic: Analytical model for evaluation of crossing stations and partial double-tracks. Dissertation/Thesis.
- Liu & Gao 2007. Study on railway transport service quality evaluation. Conference Proceedings.
- Liu & He & Wang & An 2007. Stochastic chance constrained programming model and solution of marshalling station dispatching plan. Journal Article.
- Mao & Jia & Chen & Liu 2007. A computer-aided multi-train simulator for rail traffic. Conference Proceedings.
- Murata & Goodman 1998. Optimally regulating disturbed metro traffic with passenger inconvenience in mind. Conference Proceedings.
- Noland & Polak 2002. Travel time variability: a review of theoretical and empirical issues. Journal Article.
- Petersen & Taylor 1987. Design of single-track rail line for high-speed trains. Journal Article.
- Ricci & Tieri 2008. A Petri nets based decision support tool for railway traffic conflicts forecasting and resolution. Conference Proceedings.
- Rodriguez 2008. An incremental decision algorithm for railway traffic optimisation in a complex station. Conference Proceedings.
- Sakowitz & Wendler 2006. Optimising train priorities to support the regulation of train services with the assistance of active and deductive databases. Conference Proceedings.
- Salerno & Costalli & Guida 2008. Nuovo metodo di analisi dei ritardi e valutazione del "performance regime" [A new method for delay analysis and "performance regime" evaluation]. Magazine Article.
- Törnquist 2007. Railway traffic disturbance management – An experimental analysis of disturbance complexity, management objectives and limitations in planning horizon. Journal Article.
- Turnquist & Daskin 1982. Queuing models of classification and connection delay in railyards. Journal Article.
- van den Boom & De Schutter 2004. Modeling and control of railway networks. Conference Proceedings.
- Wendler & Nießen 2008. Stochastische Modelle in der Eisenbahnbetriebswissenschaft [Stochastic models in railway operations research]. Journal Article.
- Zhang & Xu & Zhao 2008. The application of dynamic planning algorithm in automatic adjustment of train operation stage schedule for railway junction. Conference Proceedings.
- Zio & Marella & Podofilini 2007. Importance measures-based prioritization for improving the performance of multi-state systems: application to the railway industry. Journal Article.



## SIMULOINTI-teeman julkaisu

Osuuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)

täsmällisyys-  
tutkimuksen

näkökulmasta

Täysosuma

- Carey & Carville 2000. Testing schedule performance and reliability for train stations. Journal Article.
- Carey & Kwiecinski 1994. Stochastic approximation to the effects of headways on knock-on delays of trains. Journal Article.
- Claesson & Dahl & Lindh 1989. Value of reliability in passenger train operations. Magazine Article.
- Demitz & Hübschen & Albrecht 2004. Timetable stability - Using simulation to ensure quality in a regular interval timetable. Conference Proceedings.
- Fukami & Yamamoto & Hatanaka & Terada 2006. A new delay forecasting system for the Passenger Information Control system (PIC) of the Tokaido-Sanyo Shinkansen. Conference Proceedings.
- Hasegawa & Konya & Shinohara 1981. Macro-model on propagation-disappearance process of train delays. Journal Article.
- Higgins & Kozan 1998. Modeling train delays in urban networks. Journal Article.
- Jiang & Xu & Xie 2007. Train delay propagation simulation in rail transit system. Conference Proceedings.
- Jovanovic 1989. Improving railroad on-time performance: Models, algorithms and applications. Dissertation/Thesis.
- Kaas 2000. Punctuality model for railways. Conference Proceedings.
- Kauppi & Wikström & Sandblad & Andersson 2006. Future train traffic control: control by re-planning. Journal Article.
- Landex & Nielsen 2006. Simulation of disturbances and modelling of expected train passenger delays. Conference Proceedings.
- Lindfeldt 2008. Evaluation of punctuality on a heavily utilised railway line with mixed traffic. Conference Proceedings.
- Mao & Yang & Wang 1998. Statistical and simulation-based models for progression prediction of train delays on busy railway lines. Conference Proceedings.
- Mattsson 2007. Railway capacity and train delay relationships. Book, Section.
- Nash & Weidmann & Bollinger & Luethi & Buchmueller 2006. Increasing schedule reliability on the S-Bahn in Zurich, Switzerland computer analysis and simulation. Journal Article.
- Peters & Emig & Jung & Schmidt 2005. Prediction of delays in public transportation using neural networks. Conference Proceedings.
- Tadi & Palaniswamy 1984. Comparison of various freight train dispatching policies for Indian railways. Journal Article.
- Takagi & Goodman & Roberts 2004. Optimising departure times at a transport interchange to improve connections when services are disrupted. Conference Proceedings.
- Takagi & Weston & Goodman & Bouch & Armstrong & Preston & Sone 2006. Optimal train control at a junction in the main line rail network using a new object-oriented signalling system model. Conference Proceedings.
- Vansteenwegen & Van Oudheusden 2007. Decreasing the passenger waiting time for an intercity rail network. Journal Article.
- Vromans 2005. Reliability of railway systems. Dissertation/Thesis.
- Weeda & Wigenraad 2006. Joint design standard for running times, dwell times and headway times. Conference Proceedings.
- Xu & Jiang & Shao & Zhu 2006. Simulation study on train delay and propagation characteristics of urban mass transit systems. Journal Article.
- Xun & Ning & Li 2007. Network-based train-following model and study of train's delay propagation. Journal Article.
- Yin & Lam & Miller 2003. A simulation-based reliability assessment approach for congested transit network. Journal Article.
- Zhou & Gao & Li 2006. Cellular automaton model for moving-like block system and study of train's delay propagation. Journal Article.
- Anon. 2007. Algorithmic methods for railway optimization - International Dagstuhl workshop 2004. Conference Proceedings.
- Bandara & Ekanayake 2003. Train scheduling simulation that minimises operational conflicts due to service constraints. Journal Article.
- Chandesris 2006. Statistical method for the evaluation of railway systems modifications. Conference Proceedings.
- De Fabris & Longo & Medeossi 2008. Automated analysis of train event recorder data to improve micro-simulation models. Conference Proceedings.
- Ding & Chien 2001. Improving transit service quality and headway regularity with real-time control. Journal Article.
- Dure 1999. Maximizing operating reliability in design of long single-track light rail transit lines. Journal Article.
- Engelhardt-Funke & Kolonko 2004. Analysing stability and investments in railway networks using advanced evolutionary algorithms. Journal Article.
- Hallowell & Harker 1998. Predicting on-time performance in scheduled railroad operations: methodology and application to train scheduling. Journal Article.
- Hansen 2006. State-of-the-art of railway operations research. Conference Proceedings.
- Higgins & Kozan & Ferreira 1997. Modelling the number and location of sidings on a single line railway. Journal Article.
- Hiraguri & Hirao & Watanabe & Tomii & Hase 2004. Advanced train and traffic control based on prediction of train movement. Journal Article.
- Hirai & Tomii 1998. Evaluation of train interval adjustment algorithms for congested metropolitan railway lines. Journal Article.
- Ho & Norton & Goodman 1997. Optimal traffic control at railway junctions. Journal Article.
- Hooghiemstra & Teunisse 1998. Use of simulation in the planning of the Dutch railway services. Conference Proceedings.
- Jacobs 2004. Reducing delays by means of computer-aided 'on-the-spot' rescheduling. Conference Proceedings.
- Jia & Chen & Ho & Mao & Bai 2008. A heuristic algorithm for fixed train runtime. Conference Proceedings.
- Lee 1998. Delay analysis for train operation. Conference Proceedings.
- Lindfeldt 2007. Quality on single-track railway lines with passenger traffic: Analytical model for evaluation of crossing stations and partial double-tracks. Dissertation/Thesis.
- Luethi & Medeossi & Nash 2009. Structure and simulation evaluation of an integrated real-time rescheduling system for railway networks. Journal Article.
- Mao & Jia & Chen & Liu 2007. A computer-aided multi-train simulator for rail traffic. Conference Proceedings.
- Murata & Goodman 1998. Optimally regulating disturbed metro traffic with passenger inconvenience in mind. Conference Proceedings.
- Petersen & Taylor 1987. Design of single-track rail line for high-speed trains. Journal Article.
- Ricci & Tieri 2008. A Petri nets based decision support tool for railway traffic conflicts forecasting and resolution. Conference Proceedings.
- Ueda & Goodman & Sone 2004. Introduction of halt discomfort in the objective criteria of regulation for metro type railways. Conference Proceedings.
- Van Schijndel & Dinwoodie 2000. Congestion and multimodal transport: a survey of cargo transport operators in the Netherlands. Journal Article.
- Vromans & Dekker & Kroon 2004. Simulation and railway timetabling norms. Conference Proceedings.
- Zio & Marella & Podofilini 2007. Importance measures-based prioritization for improving the performance of multi-state systems: application to the railway industry. Journal Article.

Merkittävä  
osuma



# OPERAATIOANALYYSI-teeman julkaisuja

Osuvuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)  
täsmällisyys-  
tutkimuksen  
näkökulmasta

Täysosuma	Carey & Carville 2000. Testing schedule performance and reliability for train stations. Journal Article. D'Ariano & Pranzo 2009. An advanced real-time train dispatching system for minimizing the propagation of delays in a dispatching area under severe disturbances. Journal Article. Takagi & Goodman & Roberts 2004. Optimising departure times at a transport interchange to improve connections when services are disrupted. Conference Proceedings. Vromans 2005. Reliability of railway systems. Dissertation/Thesis.
Merkittävä osuma	Anderegg & Penna & Widmayer 2002. Online train disposition: To wait or not to wait? Conference Proceedings. Anon. 2007. Algorithmic methods for railway optimization – International Dagstuhl workshop 2004. Conference Proceedings. Carey & Kwiecinski 1995. Properties of expected costs and performance measures in stochastic models of scheduled transport. Journal Article. Delorme & Gandibleux & Rodriguez 2009. Stability evaluation of a railway timetable at station level. Journal Article. Flamini & Pacciarelli 2008. Real time management of a metro rail terminus. Journal Article. Florio & Malavasi & Salvini 1985. Analisi dei ritardi e verifica di un nodo ferroviario complesso [Analysis of delays and verification of a complex rail junction]. Magazine Article. Fotea 1976. Determination of the number of reception sidings, having regard to the probability of delays to trains. Magazine Article. Hansen 2006. State-of-the-art of railway operations research. Conference Proceedings. Ricci & Tieri 2008. A Petri nets based decision support tool for railway traffic conflicts forecasting and resolution. Conference Proceedings. Turnquist & Daskin 1982. Queueing models of classification and connection delay in railyards. Journal Article. Ueda & Goodman & Sone 2004. Introduction of halt discomfort in the objective criteria of regulation for metro type railways. Conference Proceedings. Wendler & Nießen 2008. Stochastische Modelle in der Eisenbahnbetriebswissenschaft [Stochastic models in railway operations research]. Journal Article.

## OHJELMISTON HYÖDYNTÄMINEN -teeman julkaisuja

Osuuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)

täsmällisyys-

tutkimuksen

näkökulmasta

Täysosuma

Merkittävä

osuma

- Carey 1994. Reliability of interconnected scheduled services. Journal Article.
- D'Ariano & Pacciarelli & Pranzo 2008. Assessment of flexible timetables in real-time traffic management of a railway bottleneck. Journal Article.
- D'Ariano & Pranzo 2009. An advanced real-time train dispatching system for minimizing the propagation of delays in a dispatching area under severe disturbances. Journal Article.
- Daamen & Goverde & Hansen 2009. Non-discriminatory automatic registration of knock-on train delays. Journal Article.
- Gouweloos & Bartholomeus 2007. An estimate of the punctuality benefits of automatic operational train sequencing. Conference Proceedings.
- Goverde 2005. Punctuality of railway operations and timetable stability analysis. Dissertation/Thesis.
- Goverde & Daamen & Hansen 2008. Automatic identification of route conflict occurrences and their consequences. Conference Proceedings.
- Hansen 2001. Improving railway punctuality by automatic piloting. Conference Proceedings.
- Jovanovic 1989. Improving railroad on-time performance: Models, algorithms and applications. Dissertation/Thesis.
- Kaas 2000. Punctuality model for railways. Conference Proceedings.
- Kauppi & Wikström & Sandblad & Andersson 2006. Future train traffic control: control by re-planning. Journal Article.
- Landex & Nielsen 2006. Simulation of disturbances and modelling of expected train passenger delays. Conference Proceedings.
- Mao & Yang & Wang 1998. Statistical and simulation-based models for progression prediction of train delays on busy railway lines. Conference Proceedings.
- Mühlhans 1990. Berechnung der Verspätungsentwicklung bei Zugfahrten [Calculating the late-running development in train operation]. Magazine Article.
- Peters & Emig & Jung & Schmidt 2005. Prediction of delays in public transportation using neural networks. Conference Proceedings.
- Schöbel 2007. Integer programming approaches for solving the delay management problem. Conference Proceedings.
- Takagi & Weston & Goodman & Bouch & Armstrong & Preston & Sone 2006. Optimal train control at a junction in the main line rail network using a new object-oriented signalling system model. Conference Proceedings.
- Veiseth & Olsson & Saetermo 2007. Infrastructure's influence on rail punctuality. Conference Proceedings.
- Alston & Davies 1970. Cybernetic operation of railway traffic. Magazine Article.
- Anon. 2007. Algorithmic methods for railway optimization – International Dagstuhl workshop 2004. Conference Proceedings.
- Bandara & Ekanayake 2003. Train scheduling simulation that minimises operational conflicts due to service constraints. Journal Article.
- Bimmermann 1987. Concept of a future traffic control and supervision system. Magazine Article.
- Chandesris 2006. Statistical method for the evaluation of railway systems modifications. Conference Proceedings.
- D'Ariano & Pranzo & Hansen 2007. Conflict resolution and train speed coordination for solving real-time timetable perturbations. Journal Article.
- De Fabris & Longo & Medeossi 2008. Automated analysis of train event recorder data to improve micro-simulation models. Conference Proceedings.
- Delorme & Gandibleux & Rodriguez 2009. Stability evaluation of a railway timetable at station level. Journal Article.
- Engelhardt-Funke & Kolonko 2004. Analysing stability and investments in railway networks using advanced evolutionary algorithms. Journal Article.
- Flamini & Pacciarelli 2008. Real time management of a metro rail terminus. Journal Article.
- Hansen 2006. State-of-the-art of railway operations research. Conference Proceedings.
- He & Song & Chaudhry 2003. An integrated dispatching model for rail yards operations. Journal Article.
- Hooghiemstra & Teunisse 1998. Use of simulation in the planning of the Dutch railway services. Conference Proceedings.
- Jacobs 2004. Reducing delays by means of computer-aided 'on-the-spot' rescheduling. Conference Proceedings.
- Kumazawa & Hara & Koseki 2008. A novel train rescheduling algorithm for correcting disrupted train operations in a dense urban environment. Conference Proceedings.
- Lindfeldt 2007. Quality on single-track railway lines with passenger traffic: Analytical model for evaluation of crossing stations and partial double-tracks. Dissertation/Thesis.
- Liu & He & Wang & An 2007. Stochastic chance constrained programming model and solution of marshalling station dispatching plan. Journal Article.
- Mao & Jia & Chen & Liu 2007. A computer-aided multi-train simulator for rail traffic. Conference Proceedings.
- McTavish & Maidment 1989. Quality monitoring in British Rail. Magazine Article.
- Nash & Ullius 2004. Optimizing railway timetables with OpenTimeTable. Conference Proceedings.
- Ricci & Tieri 2008. A Petri nets based decision support tool for railway traffic conflicts forecasting and resolution. Conference Proceedings.
- Sakowitz & Wendler 2006. Optimising train priorities to support the regulation of train services with the assistance of active and deductive databases. Conference Proceedings.
- Shimizu & Tanabe & Honda & Yasura 2006. The new Shinkansen rescheduling system for drivers and crew. Conference Proceedings.
- Sinha & Rajput & Asthana 1990. EXDAFS – An expert system for dynamic allocation of facilities at stations. Conference Proceedings.
- Vromans & Dekker & Kroon 2004. Simulation and railway timetabling norms. Conference Proceedings.
- Zhang & Xu & Zhao 2008. The application of dynamic planning algorithm in automatic adjustment of train operation stage schedule for railway junction. Conference Proceedings.



## TAPAUSTUTKIMUS-teeman julkaisuja

Osuuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)  
täsmällisyys-  
tutkimuksen  
näkökulmasta

Täysosuma	<p>Cavana &amp; Corbett &amp; Lo 2007. Developing zones of tolerance for managing passenger rail service quality. Journal Article.</p> <p>D'Ariano &amp; Albrecht 2006. Running time re-optimization during real-time timetable perturbations. Conference Proceedings.</p> <p>D'Ariano &amp; Pacciarelli &amp; Pranzo 2008. Assessment of flexible timetables in real-time traffic management of a railway bottleneck. Journal Article.</p> <p>D'Ariano &amp; Pranzo 2009. An advanced real-time train dispatching system for minimizing the propagation of delays in a dispatching area under severe disturbances. Journal Article.</p> <p>De Bruijn &amp; De Bruijne &amp; Steenhuisen 2007. Managing infrastructure vulnerability. Conference Proceedings.</p> <p>Debrincat &amp; Goldberg &amp; Duchâteau &amp; Kroes &amp; Kouwenhoven 2007. Regularity of trains in Ile de France: What does it mean to users? Journal Article.</p> <p>Fukami &amp; Yamamoto &amp; Hatanaka &amp; Terada 2006. A new delay forecasting system for the Passenger Information Control system (PIC) of the Tokaido-Sanyo Shinkansen. Conference Proceedings.</p> <p>Giannopoulos 1985. Travel time and delay factors on Greek railways: an analysis of the existing situation and proposals for short-term improvements. Magazine Article.</p> <p>Goverde 2005. Punctuality of railway operations and timetable stability analysis. Dissertation/Thesis.</p> <p>Goverde &amp; Daamen &amp; Hansen 2008. Automatic identification of route conflict occurrences and their consequences. Conference Proceedings.</p> <p>Granström 2008. A system and stakeholder approach for the identification of condition information: A case study for the Swedish railway. Journal Article.</p> <p>Higgins &amp; Kozan 1998. Modeling train delays in urban networks. Journal Article.</p> <p>Jiang &amp; Xu &amp; Xie 2007. Train delay propagation simulation in rail transit system. Conference Proceedings.</p> <p>Kaas 2000. Punctuality model for railways. Conference Proceedings.</p> <p>Kauppi &amp; Wikström &amp; Sandblad &amp; Andersson 2006. Future train traffic control: control by re-planning. Journal Article.</p> <p>Kikuchi 1983. Snow countermeasures of the Tohoku &amp; Joetsu Shinkansen lines. Journal Article.</p> <p>Kroon &amp; Maróti &amp; Helmrich &amp; Vromans &amp; Dekker 2008. Stochastic improvement of cyclic railway timetables. Journal Article.</p> <p>Landex &amp; Nielsen 2006. Simulation of disturbances and modelling of expected train passenger delays. Conference Proceedings.</p> <p>Lindfeldt 2008. Evaluation of punctuality on a heavily utilised railway line with mixed traffic. Conference Proceedings.</p> <p>Meester &amp; Muns 2007. Stochastic delay propagation in railway networks and phase-type distributions. Journal Article.</p> <p>Olsson &amp; Haugland 2004. Influencing factors on train punctuality – results from some Norwegian studies. Journal Article.</p> <p>Rietveld &amp; Bruinsma &amp; Van Vuuren 2001. Coping with unreliability in public transport chains: A case study for Netherlands. Journal Article.</p> <p>Shoji &amp; Igarashi 1997. New trends of train control and management systems with real-time and non real-time properties. Conference Proceedings.</p> <p>Vansteenwegen &amp; Van Oudheusden 2007. Decreasing the passenger waiting time for an intercity rail network. Journal Article.</p> <p>Veiseth &amp; Olsson &amp; Saetermo 2007. Infrastructure's influence on rail punctuality. Conference Proceedings.</p> <p>Vromans &amp; Dekker &amp; Kroon 2006. Reliability and heterogeneity of railway services. Journal Article.</p> <p>Weeda 2006. Analysis of dispunctuality, incident registration, and running and dwell time: Results of case studies Rotterdam–Dordrecht. Report.</p> <p>Yin &amp; Lam &amp; Miller 2003. A simulation-based reliability assessment approach for congested transit network. Journal Article.</p> <p>Yuan &amp; Hansen 2002. Punctuality of train traffic in Dutch railway stations. Conference Proceedings.</p> <p>Yuan &amp; Hansen 2004. Analysis of scheduled and real capacity utilisation at a major Dutch Railway station. Conference Proceedings.</p> <p>Yuan &amp; Hansen 2007. Optimizing capacity utilization of stations by estimating knock-on train delays. Journal Article.</p>
Merkittävä osuma	<p>Albrecht &amp; Goverde &amp; Weeda &amp; Van Luipen 2006. Reconstruction of train trajectories from track occupation data to determine the effects of a Driver Information System. Conference Proceedings.</p> <p>Albrecht &amp; Van Luipen &amp; Hansen &amp; Weeda 2007. Bessere Echtzeitinformationen für Triebfahrzeugführer und Fahrdienstleiter [Improved real-time information for drivers and controllers]. Magazine Article.</p> <p>Anon. 2007. Algorithmic methods for railway optimization – International Dagstuhl workshop 2004. Conference Proceedings.</p> <p>Asensio &amp; Matas 2008. Commuters' valuation of travel time variability. Journal Article.</p> <p>Badcock 2006. More trains on TIME more often. Magazine Article.</p> <p>Bhat &amp; Sardesai 2006. The impact of stop-making and travel time reliability on commute mode choice. Journal Article.</p> <p>Brons &amp; Givoni &amp; Rietveld 2009. Access to railway stations and its potential in increasing rail use. Journal Article.</p> <p>Carey &amp; Carville 2003. Scheduling and platforming trains at busy complex stations. Journal Article.</p> <p>Chakroborty &amp; Vikram 2008. Optimum assignment of trains to platforms under partial schedule compliance. Journal Article.</p> <p>D'Ariano &amp; Pranzo &amp; Hansen 2007. Conflict resolution and train speed coordination for solving real-time timetable perturbations. Journal Article.</p> <p>Daamen &amp; Goverde &amp; Hansen &amp; Weeda 2006. Monitoring system for reliability of transport chains. Conference Proceedings.</p> <p>Daamen &amp; Houben &amp; Goverde &amp; Hansen &amp; Weeda 2008. Monitoring system for reliability of rail transport chains. Report.</p> <p>De Fabris &amp; Longo &amp; Medeoosi 2008. Automated analysis of train event recorder data to improve micro-simulation models. Conference Proceedings.</p> <p>Delorme &amp; Gandibleux &amp; Rodriguez 2009. Stability evaluation of a railway timetable at station level. Journal Article.</p> <p>Ding &amp; Chien 2001. Improving transit service quality and headway regularity with real-time control. Journal Article.</p> <p>Ferreira &amp; Higgins 1998. Scheduling rail track maintenance. Conference Proceedings.</p> <p>Goverde 2007. Railway timetable stability analysis using max-plus system theory. Journal Article.</p> <p>Hansen 2000. Station capacity and stability of train operations. Conference Proceedings.</p> <p>He &amp; Song &amp; Chaudhry 2003. An integrated dispatching model for rail yards operations. Journal Article.</p> <p>Huisman &amp; Boucherie 2001. Running times on railway sections with heterogeneous train traffic. Journal Article.</p> <p>Johnson &amp; Nelson 1991. Market response to changes in attributes of a long-distance passenger rail service. Journal Article.</p> <p>Kroes &amp; Kouwenhoven &amp; Duchâteau &amp; Debrincat &amp; Goldberg 2007. Value of punctuality on suburban trains to and from Paris. Journal Article.</p> <p>Liu &amp; Gao 2007. Study on railway transport service quality evaluation. Conference Proceedings.</p> <p>Liu &amp; He &amp; Wang &amp; An 2007. Stochastic chance constrained programming model and solution of marshalling station dispatching plan. Journal Article.</p> <p>Luethi &amp; Medeoosi &amp; Nash 2009. Structure and simulation evaluation of an integrated real-time rescheduling system for railway networks. Journal Article.</p> <p>Mao &amp; Jia &amp; Chen &amp; Liu 2007. A computer-aided multi-train simulator for rail traffic. Conference Proceedings.</p> <p>Ricci &amp; Tieri 2008. A Petri nets based decision support tool for railway traffic conflicts forecasting and resolution. Conference Proceedings.</p> <p>Rodrigue 2008. The Thruport concept and transmodal rail freight distribution in North America. Journal Article.</p> <p>Schmocker &amp; Cooper &amp; Adeney 2005. Metro service delay recovery: Comparison of strategies and constraints across systems. Journal Article.</p> <p>Spieß 2005. Schmierfilm auf den Schienen – Systemlösungen für das Herbstproblem [Leaves on the track – Solutions for the autumn problem using a system approach]. Journal Article.</p> <p>Törnquist 2007. Railway traffic disturbance management – An experimental analysis of disturbance complexity, management objectives and limitations in planning horizon. Journal Article.</p> <p>Trotter 1987. Measuring the quality of service: a note on British Rail's 'Q-Statistic'. Journal Article.</p> <p>Zhang &amp; Xu &amp; Zhao 2008. The application of dynamic planning algorithm in automatic adjustment of train operation stage schedule for railway junction. Conference Proceedings.</p>



# VIVEIDEN SYYT -teeman julkaisu

Osuvuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)

täsmällisyys-  
tutkimuksen  
näkökulmasta

Täysosuma	<p>Carey 1999. Ex ante heuristic measures of schedule reliability. Journal Article.</p> <p>Claesson &amp; Dahl &amp; Lindh 1989. Value of reliability in passenger train operations. Magazine Article.</p> <p>D'Ariano &amp; Pranzo 2009. An advanced real-time train dispatching system for minimizing the propagation of delays in a dispatching area under severe disturbances. Journal Article.</p> <p>De Bruijn &amp; De Bruijne &amp; Steenhuisen 2007. Managing infrastructure vulnerability. Conference Proceedings.</p> <p>Fiedler 2005. Verlässlichkeit als Konkurrenzriterium [Reliability as a competitiveness criterion]. Magazine Article.</p> <p>Giannopoulos 1985. Travel time and delay factors on Greek railways: an analysis of the existing situation and proposals for short-term improvements. Magazine Article.</p> <p>Gorman 2009. Statistical estimation of railroad congestion delay. Journal Article.</p> <p>Gouweloos &amp; Bartholomeus 2007. An estimate of the punctuality benefits of automatic operational train sequencing. Conference Proceedings.</p> <p>Goverde 2000. Delay estimation and filtering of train detection data. Conference Proceedings.</p> <p>Goverde 2005. Punctuality of railway operations and timetable stability analysis. Dissertation/Thesis.</p> <p>Goverde &amp; Daamen &amp; Hansen 2008. Automatic identification of route conflict occurrences and their consequences. Conference Proceedings.</p> <p>Granström 2008. A system and stakeholder approach for the identification of condition information: A case study for the Swedish railway. Journal Article.</p> <p>Guarnieri 1980. L'esercizio ferroviario: il servizio viaggiatori, con particolare riferimento ai problemi del nodo di Milano [Railway operation: The passenger service with particular reference to the problems of the railway center of Milan]. Magazine Article.</p> <p>Hansen 2001. Improving railway punctuality by automatic piloting. Conference Proceedings.</p> <p>Higgins &amp; Kozan 1998. Modeling train delays in urban networks. Journal Article.</p> <p>Higgins &amp; Kozan &amp; Ferreira 1995. Modelling delay risks associated with train schedules. Journal Article.</p> <p>Jiang &amp; Xu &amp; Xie 2007. Train delay propagation simulation in rail transit system. Conference Proceedings.</p> <p>Jovanovic 1989. Improving railroad on-time performance: Models, algorithms and applications. Dissertation/Thesis.</p> <p>Kaas 2000. Punctuality model for railways. Conference Proceedings.</p> <p>Kikuchi 1983. Snow countermeasures of the Tohoku &amp; Joetsu Shinkansen lines. Journal Article.</p> <p>Lampe 1991. Qualitätsmerkmal Pünktlichkeit [Punctuality – a quality feature]. Journal Article.</p> <p>Lindfeldt 2006. Influences of station length and inter-station distance on delays and delay propagation on single-track lines with regional rail traffic. Conference Proceedings.</p> <p>Lindfeldt 2008. Evaluation of punctuality on a heavily utilised railway line with mixed traffic. Conference Proceedings.</p> <p>Mattsson 2007. Railway capacity and train delay relationships. Book, Section.</p> <p>Nash &amp; Weidmann &amp; Bollinger &amp; Luethi &amp; Buchmueller 2006. Increasing schedule reliability on the S-Bahn in Zurich, Switzerland computer analysis and simulation. Journal Article.</p> <p>Nelson &amp; O'Neil 2000. Commuter rail service reliability: On-time performance and causes for delays. Journal Article.</p> <p>Nyström 2008. A methodology for measuring the quality of deviation reporting: Applied to railway delay attribution. Journal Article.</p> <p>Olsson &amp; Haugland 2004. Influencing factors on train punctuality – results from some Norwegian studies. Journal Article.</p> <p>Tadi &amp; Palaniswamy 1984. Comparison of various freight train dispatching policies for Indian railways. Journal Article.</p> <p>Thornes &amp; Davis 2002. Mitigating the impact of weather and climate on railway operations in the UK. Conference Proceedings.</p> <p>Weiseth &amp; Olsson &amp; Saetermo 2007. Infrastructure's influence on rail punctuality. Conference Proceedings.</p> <p>Weeda 2006. Analysis of dispunctuality, incident registration, and running and dwell time: Results of case studies Rotterdam–Dordrecht. Report.</p> <p>Xun &amp; Ning &amp; Li 2007. Network-based train-following model and study of train's delay propagation. Journal Article.</p> <p>Yuan 2007. Dealing with stochastic dependence in the modeling of train delays and delay propagation. Conference Proceedings.</p> <p>Zhou &amp; Gao &amp; Li 2006. Cellular automaton model for moving-like block system and study of train's delay propagation. Journal Article.</p>
Merkittävä osuma	<p>Bandara &amp; Ekanayake 2003. Train scheduling simulation that minimises operational conflicts due to service constraints. Journal Article.</p> <p>Chandesris 2006. Statistical method for the evaluation of railway systems modifications. Conference Proceedings.</p> <p>Daamen &amp; Goverde &amp; Hansen &amp; Weeda 2006. Monitoring system for reliability of transport chains. Conference Proceedings.</p> <p>Daamen &amp; Houben &amp; Goverde &amp; Hansen &amp; Weeda 2008. Monitoring system for reliability of rail transport chains. Report.</p> <p>De Fabris &amp; Longo &amp; Medeossi 2008. Automated analysis of train event recorder data to improve micro-simulation models. Conference Proceedings.</p> <p>Dure 1999. Maximizing operating reliability in design of long single-track light rail transit lines. Journal Article.</p> <p>Ferreira 1997. Rail track infrastructure ownership: investment and operational issues. Journal Article.</p> <p>Florio &amp; Malavasi &amp; Salvini 1985. Analisi dei ritardi e verifica di un nodo ferroviario complesso [Analysis of delays and verification of a complex rail junction]. Magazine Article.</p> <p>Gibson &amp; Cooper &amp; Ball 2002. Developments in transport policy: The evolution of capacity charges on the UK rail network. Journal Article.</p> <p>Higgins &amp; Kozan &amp; Ferreira 1997. Modelling the number and location of sidings on a single line railway. Journal Article.</p> <p>Lam &amp; Cheung &amp; Lam 1999. A study of crowding effects at the Hong Kong light rail transit stations. Journal Article.</p> <p>Lee 1998. Delay analysis for train operation. Conference Proceedings.</p> <p>Lindfeldt 2007. Quality on single-track railway lines with passenger traffic: Analytical model for evaluation of crossing stations and partial double-tracks. Dissertation/Thesis.</p> <p>Nash &amp; Ullius 2004. Optimizing railway timetables with OpenTimeTable. Conference Proceedings.</p> <p>Petersen &amp; Taylor 1987. Design of single-track rail line for high-speed trains. Journal Article.</p> <p>Sagareli 2004. Traction power systems reliability concepts. Conference Proceedings.</p> <p>Salerno &amp; Costalli &amp; Guida 2008. Nuovo metodo di analisi dei ritardi e valutazione del "performance regime" [A new method for delay analysis and "performance regime" evaluation]. Magazine Article.</p> <p>Spiess 2005. Schmierfilm auf den Schienen – Systemlösungen für das Herbstproblem [Leaves on the track – Solutions for the autumn problem using a system approach]. Journal Article.</p> <p>Törnquist 2007. Railway traffic disturbance management – An experimental analysis of disturbance complexity, management objectives and limitations in planning horizon. Journal Article.</p> <p>Turnquist &amp; Daskin 1982. Queuing models of classification and connection delay in railyards. Journal Article.</p> <p>Van Schijndel &amp; Dinwoodie 2000. Congestion and multimodal transport: a survey of cargo transport operators in the Netherlands. Journal Article.</p> <p>Vromans &amp; Dekker &amp; Kroon 2004. Simulation and railway timetabling norms. Conference Proceedings.</p>



# VIIVEIDEN KETJUUNTUMINEN -teeman julkaisuja (1)

Osuvuus      Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)  
tasmällisyy-  
s-  
tutkimuksen  
näkökulmasta

Täysosuma

Carey 1994. Reliability of interconnected scheduled services. Journal Article.

Carey 1999. Ex ante heuristic measures of schedule reliability. Journal Article.

Carey & Carville 2000. Testing schedule performance and reliability for train stations. Journal Article.

Carey & Kwiecinski 1994. Stochastic approximation to the effects of headways on knock-on delays of trains. Journal Article.

Carey & Kwiecinski 1994. Swapping the order of scheduled services to minimize expected costs of delays. Journal Article.

D'Ariano & Pranzo 2009. An advanced real-time train dispatching system for minimizing the propagation of delays in a dispatching area under severe disturbances. Journal Article.

Daamen & Goverde & Hansen 2009. Non-discriminatory automatic registration of knock-on train delays. Journal Article.

Demitz & Hübschen & Albrecht 2004. Timetable stability - Using simulation to ensure quality in a regular interval timetable. Conference Proceedings.

Fiedler 2005. Verlässlichkeit als Konkurrenzriterium [Reliability as a competitiveness criterion]. Magazine Article.

Gatto & Jacob & Peeters & Widmayer 2007. Online delay management on a single train line. Conference Proceedings.

Gorman 2009. Statistical estimation of railroad congestion delay. Journal Article.

Gouweloos & Bartholomeus 2007. An estimate of the punctuality benefits of automatic operational train sequencing. Conference Proceedings.

Goverde & Daamen & Hansen 2008. Automatic identification of route conflict occurrences and their consequences. Conference Proceedings.

Hansen 2001. Improving railway punctuality by automatic piloting. Conference Proceedings.

Hansen & Yuan 2006. Stochastic modeling of delay propagation at railway stations and junctions. Conference Proceedings.

Hasegawa & Konya & Shinohara 1981. Macro-model on propagation-disappearance process of train delays. Journal Article.

Higgins & Kozan 1998. Modeling train delays in urban networks. Journal Article.

Jiang & Xu & Xie 2007. Train delay propagation simulation in rail transit system. Conference Proceedings.

Kroon & Maróti & Helmrich & Vromans & Dekker 2008. Stochastic improvement of cyclic railway timetables. Journal Article.

Lindfeldt 2006. Influences of station length and inter-station distance on delays and delay propagation on single-track lines with regional rail traffic. Conference Proceedings.

Lindfeldt 2008. Evaluation of punctuality on a heavily utilised railway line with mixed traffic. Conference Proceedings.

Mao & Yang & Wang 1998. Statistical and simulation-based models for progression prediction of train delays on busy railway lines. Conference Proceedings.

Mattsson 2007. Railway capacity and train delay relationships. Book, Section.

Meester & Muns 2007. Stochastic delay propagation in railway networks and phase-type distributions. Journal Article.

Mühlhans 1990. Berechnung der Verspätungsentwicklung bei Zugfahrten [Calculating the late-running development in train operation]. Magazine Article.

Peters & Emig & Jung & Schmidt 2005. Prediction of delays in public transportation using neural networks. Conference Proceedings.

Schöbel 2007. Integer programming approaches for solving the delay management problem. Conference Proceedings.

Takagi & Goodman & Roberts 2004. Optimising departure times at a transport interchange to improve connections when services are disrupted. Conference Proceedings.

Takagi & Weston & Goodman & Bouch & Armstrong & Preston & Sone 2006. Optimal train control at a junction in the main line rail network using a new object-oriented signalling system model. Conference Proceedings.

Vromans 2005. Reliability of railway systems. Dissertation/Thesis.

Weeda & Wigenraad 2006. Joint design standard for running times, dwell times and headway times. Conference Proceedings.

Weigand 1981. Verspätungsübertragungen in Fernverkehrsnetzen [Delay propagation in long distance traffic networks]. Magazine Article.

Xu & Jiang & Shao & Zhu 2006. Simulation study on train delay and propagation characteristics of urban mass transit systems. Journal Article.

Xun & Ning & Li 2007. Network-based train-following model and study of train's delay propagation. Journal Article.

Yuan 2004. An analytical model for estimating the propagation of train delays in complex station areas. Conference Proceedings.

Yuan 2006. Stochastic modelling of train delays and delay propagation in stations. Dissertation/Thesis.

Yuan 2007. Dealing with stochastic dependence in the modeling of train delays and delay propagation. Conference Proceedings.

Yuan & Goverde & Hansen 2002. Propagation of train delays in stations. Conference Proceedings.

Yuan & Goverde & Hansen 2006. Evaluating stochastic train process time distribution models on the basis of empirical detection data. Conference Proceedings.

Yuan & Hansen 2002. Punctuality of train traffic in Dutch railway stations. Conference Proceedings.

Yuan & Hansen 2004. Analysis of scheduled and real capacity utilisation at a major Dutch Railway station. Conference Proceedings.

Yuan & Hansen 2007. Optimizing capacity utilization of stations by estimating knock-on train delays. Journal Article.

Yuan & Hansen 2008. Closed form expressions of optimal buffer times between scheduled trains at railway bottlenecks. Conference Proceedings.

Zhou & Gao & Li 2006. Cellular automaton model for moving-like block system and study of train's delay propagation. Journal Article.

## VIIVEIDEN KETJUUNTUMINEN -teeman julkaisuja (2)

Osuuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)

täsmällisyys-  
tutkimuksen  
näkökulmasta

Merkittävä osuma	<p>Albrecht &amp; Goverde &amp; Weeda &amp; Van Luipen 2006. Reconstruction of train trajectories from track occupation data to determine the effects of a Driver Information System. Conference Proceedings.</p> <p>Bandara &amp; Ekanayake 2003. Train scheduling simulation that minimises operational conflicts due to service constraints. Journal Article.</p> <p>Carey &amp; Carville 2003. Scheduling and platforming trains at busy complex stations. Journal Article.</p> <p>Carey &amp; Kwiecinski 1995. Properties of expected costs and performance measures in stochastic models of scheduled transport. Journal Article.</p> <p>Chandesris 2006. Statistical method for the evaluation of railway systems modifications. Conference Proceedings.</p> <p>D'Ariano 2008. Improving real-time train dispatching: models, algorithms and applications. Dissertation/Thesis.</p> <p>D'Ariano &amp; Pranzo &amp; Hansen 2007. Conflict resolution and train speed coordination for solving real-time timetable perturbations. Journal Article.</p> <p>Daamen &amp; Goverde &amp; Hansen &amp; Weeda 2006. Monitoring system for reliability of transport chains. Conference Proceedings.</p> <p>Daamen &amp; Houben &amp; Goverde &amp; Hansen &amp; Weeda 2008. Monitoring system for reliability of rail transport chains. Report.</p> <p>Delorme &amp; Gandibleux &amp; Rodriguez 2009. Stability evaluation of a railway timetable at station level. Journal Article.</p> <p>Dure 1999. Maximizing operating reliability in design of long single-track light rail transit lines. Journal Article.</p> <p>Engelhardt-Funke &amp; Kolonko 2004. Analysing stability and investments in railway networks using advanced evolutionary algorithms. Journal Article.</p> <p>Florio &amp; Malavasi &amp; Salvini 1985. Analisi dei ritardi e verifica di un nodo ferroviario complesso [Analysis of delays and verification of a complex rail junction]. Magazine Article.</p> <p>Furth 1995. Headway control strategy for recovering from transit vehicle delays. Conference Proceedings.</p> <p>Gibson &amp; Cooper &amp; Ball 2002. Developments in transport policy: The evolution of capacity charges on the UK rail network. Journal Article.</p> <p>Ginkel &amp; Schöbel 2007. To wait or not to wait? The bicriteria delay management problem in public transportation. Journal Article.</p> <p>Goverde 2007. Railway timetable stability analysis using max-plus system theory. Journal Article.</p> <p>Hansen 2000. Station capacity and stability of train operations. Conference Proceedings.</p> <p>Hansen 2006. State-of-the-art of railway operations research. Conference Proceedings.</p> <p>Heidergott &amp; Vries 2001. Towards a (max,+) control theory for public transportation networks. Journal Article.</p> <p>Higgins &amp; Kozan &amp; Ferreira 1997. Modelling the number and location of sidings on a single line railway. Journal Article.</p> <p>Hiraguri &amp; Hirao &amp; Watanabe &amp; Tomii &amp; Hase 2004. Advanced train and traffic control based on prediction of train movement. Journal Article.</p> <p>Hirai &amp; Tomii 1998. Evaluation of train interval adjustment algorithms for congested metropolitan railway lines. Journal Article.</p> <p>Huisman &amp; Boucherie 2001. Running times on railway sections with heterogeneous train traffic. Journal Article.</p> <p>Kumazawa &amp; Hara &amp; Koseki 2008. A novel train rescheduling algorithm for correcting disrupted train operations in a dense urban environment. Conference Proceedings.</p> <p>Lindfeldt 2007. Quality on single-track railway lines with passenger traffic: Analytical model for evaluation of crossing stations and partial double-tracks. Dissertation/Thesis.</p> <p>Luethi &amp; Medeoosi &amp; Nash 2009. Structure and simulation evaluation of an integrated real-time rescheduling system for railway networks. Journal Article.</p> <p>Rodriguez 2008. An incremental decision algorithm for railway traffic optimisation in a complex station. Conference Proceedings.</p> <p>Törnquist 2007. Railway traffic disturbance management – An experimental analysis of disturbance complexity, management objectives and limitations in planning horizon. Journal Article.</p> <p>Turnquist &amp; Daskin 1982. Queueing models of classification and connection delay in railyards. Journal Article.</p> <p>Vromans &amp; Dekker &amp; Kroon 2004. Simulation and railway timetabling norms. Conference Proceedings.</p>
---------------------	--



MYÖHÄSTYMISTEN SEURAUKSET -teeman julkaisuja

Osuuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)  
täsmällisyys-  
tutkimuksen  
näkökulmasta

Täysosuma

Bachman 1989. HSR vehicle performance characteristics. Journal Article.  
Carey 1999. Ex ante heuristic measures of schedule reliability. Journal Article.  
Carey & Carville 2000. Testing schedule performance and reliability for train stations. Journal Article.  
Carey & Kwiecinski 1994. Swapping the order of scheduled services to minimize expected costs of delays. Journal Article.  
Claesson & Dahl & Lindh 1989. Value of reliability in passenger train operations. Magazine Article.  
Debrincat & Goldberg & Duchâteau & Kroes & Kouwenhoven 2007. Regularity of trains in Ile de France: What does it mean to users? Journal Article.  
Demitz & Hübschen & Albrecht 2004. Timetable stability - Using simulation to ensure quality in a regular interval timetable. Conference Proceedings.  
Fiedler 2005. Verlässlichkeit als Konkurrenz-kriterium [Reliability as a competitiveness criterion]. Magazine Article.  
Gatto & Glaus & Jacob & Peeters & Widmayer 2004. Railway delay management: Exploring its algorithmic complexity. Journal Article.  
Gatto & Jacob & Peeters & Widmayer 2007. Online delay management on a single train line. Conference Proceedings.  
Goverde & Daamen & Hansen 2008. Automatic identification of route conflict occurrences and their consequences. Conference Proceedings.  
Hansen 2001. Improving railway punctuality by automatic piloting. Conference Proceedings.  
Hasegawa & Konya & Shinohara 1981. Macro-model on propagation-disappearance process of train delays. Journal Article.  
Heimann 1979. Determination of transit system dependability. Conference Proceedings.  
Higgins & Kozan 1998. Modeling train delays in urban networks. Journal Article.  
Higgins & Kozan & Ferreira 1995. Modelling delay risks associated with train schedules. Journal Article.  
Houben & Rietveld & van Hagen & Daamen & Moltzer 2006. Importance of reliability for transportation chains. Subjective versus objective reliability: chances for incentives? Report.  
Jochim 2000. Verkehrswirtschaftliche Ermittlung von Qualitätsmaßstäben im Eisenbahnbetrieb [Economic determination of quality benchmarks in railway operations]. Magazine Article.  
Lampe 1991. Qualitätsmerkmal Pünktlichkeit [Punctuality – a quality feature]. Journal Article.  
Landex & Nielsen 2006. Simulation of disturbances and modelling of expected train passenger delays. Conference Proceedings.  
Lindfeldt 2008. Evaluation of punctuality on a heavily utilised railway line with mixed traffic. Conference Proceedings.  
Mattsson 2007. Railway capacity and train delay relationships. Book, Section.  
Nash & Weidmann & Bollinger & Luethi & Buchmueller 2006. Increasing schedule reliability on the S-Bahn in Zurich, Switzerland computer analysis and simulation. Journal Article.  
Tripp & Drea 2002. Selecting and promoting service encounter elements in passenger rail transportation. Journal Article.  
Tseng & Rietveld & Verhoef 2004. A meta-analysis of valuation of travel time reliability. Report.  
Vansteenwegen & Van Oudheusden 2007. Decreasing the passenger waiting time for an intercity rail network. Journal Article.  
Veiseth & Olsson & Saetermo 2007. Infrastructure's influence on rail punctuality. Conference Proceedings.

Merkittävä osuma

Asensio & Matas 2008. Commuters' valuation of travel time variability. Journal Article.  
Badcock 2006. More trains on TIME more often. Magazine Article.  
Barter 2004. Forecasting robustness of timetables. Conference Proceedings.  
Bhat & Sardesai 2006. The impact of stop-making and travel time reliability on commute mode choice. Journal Article.  
Bieger & Laesser 2001. The role of the railway with regard to mode choice in medium range travel. Journal Article.  
Chakroborty & Vikram 2008. Optimum assignment of trains to platforms under partial schedule compliance. Journal Article.  
Evans & Morrison 1997. Incorporating accident risk and disruption in economic models of public transport. Journal Article.  
Fearnley & Bekken & Norheim 2004. Optimal performance-based subsidies in Norwegian intercity rail transport. Journal Article.  
Gibson 2005. Incentivising operational performance on the UK rail infrastructure since 1996. Journal Article.  
Ginkel & Schöbel 2007. To wait or not to wait? The bicriteria delay management problem in public transportation. Journal Article.  
Goodman & Murata 2001. Metro traffic regulation from the passenger perspective. Journal Article.  
Goverde 2007. Railway timetable stability analysis using max-plus system theory. Journal Article.  
Hirai & Tomii 1998. Evaluation of train interval adjustment algorithms for congested metropolitan railway lines. Journal Article.  
Hooghiemstra & Teunisse 1998. Use of simulation in the planning of the Dutch railway services. Conference Proceedings.  
Johnson & Nelson 1991. Market response to changes in attributes of a long-distance passenger rail service. Journal Article.  
Kumazawa & Hara & Koseki 2008. A novel train rescheduling algorithm for correcting disrupted train operations in a dense urban environment. Conference Proceedings.  
Liu & Gao 2007. Study on railway transport service quality evaluation. Conference Proceedings.  
Murata & Goodman 1998. Optimally regulating disturbed metro traffic with passenger inconvenience in mind. Conference Proceedings.  
Ricci & Tieri 2008. A Petri nets based decision support tool for railway traffic conflicts forecasting and resolution. Conference Proceedings.  
Sagareli 2004. Traction power systems reliability concepts. Conference Proceedings.  
Sakowitz & Wendler 2006. Optimising train priorities to support the regulation of train services with the assistance of active and deductive databases. Conference Proceedings.  
Salerno & Costalli & Guida 2008. Nuovo metodo di analisi dei ritardi e valutazione del "performance regime" [A new method for delay analysis and "performance regime" evaluation]. Magazine Article.  
Schmocker & Cooper & Adeney 2005. Metro service delay recovery: Comparison of strategies and constraints across systems. Journal Article.  
Seewald 2002. Railroads fail to deliver on service. Journal Article.  
Sinha & Rajput & Asthana 1990. EXDAFS – An expert system for dynamic allocation of facilities at stations. Conference Proceedings.  
Törnquist 2007. Railway traffic disturbance management – An experimental analysis of disturbance complexity, management objectives and limitations in planning horizon. Journal Article.  
Ueda & Goodman & Sone 2004. Introduction of halt discomfort in the objective criteria of regulation for metro type railways. Conference Proceedings.  
Van Schijndel & Dinwoodie 2000. Congestion and multimodal transport: a survey of cargo transport operators in the Netherlands. Journal Article.  
Zio & Marella & Podofilini 2007. Importance measures-based prioritization for improving the performance of multi-state systems: application to the railway industry. Journal Article.

# MYÖHÄSTYMISTEN MITTAAMINEN -teeman julkaisuja

Osuvuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)

täsmällisyys-

tutkimuksen

näkökulmasta

Täysosuma

Carey 1994. Reliability of interconnected scheduled services. Journal Article.

Carey 1999. Ex ante heuristic measures of schedule reliability. Journal Article.

Cavana & Corbett & Lo 2007. Developing zones of tolerance for managing passenger rail service quality. Journal Article.

Chen & Harker 1990. Two moments estimation of the delay on single-track rail lines with scheduled traffic. Journal Article.

Daamen & Goverde & Hansen 2009. Non-discriminatory automatic registration of knock-on train delays. Journal Article.

De Bruijn & De Bruijne & Steenhuisen 2007. Managing infrastructure vulnerability. Conference Proceedings.

Debrincat & Goldberg & Duchâteau & Kroes & Kouwenhoven 2007. Regularity of trains in Ile de France: What does it mean to users? Journal Article.

Fukami & Yamamoto & Hatanaka & Terada 2006. A new delay forecasting system for the Passenger Information Control system (PIC) of the Tokaido-Sanyo Shinkansen. Conference Proceedings.

Galetzka & Gelders & Verckens & Seydel 2008. Transparency and performance communication: a case study of Dutch Railways. Journal Article.

Gelders & Galetzka & Verckens & Seydel 2008. Showing results? An analysis of the perceptions of internal and external stakeholders of the public performance communication by the Belgian and Dutch Railways. Journal Article.

Goverde 2000. Delay estimation and filtering of train detection data. Conference Proceedings.

Goverde & Daamen & Hansen 2008. Automatic identification of route conflict occurrences and their consequences. Conference Proceedings.

Guarnieri 1980. L'esercizio ferroviario: il servizio viaggiatori, con particolare riferimento ai problemi del nodo di Milano [Railway operation: The passenger service with particular reference to the problems of the railway center of Milan]. Magazine Article.

Heimann 1979. Determination of transit system dependability. Conference Proceedings.

Nathanail 2008. Measuring the quality of service for passengers on the Hellenic railways. Journal Article.

Nelson & O'Neil 2000. Commuter rail service reliability: On-time performance and causes for delays. Journal Article.

Nyström 2008. A methodology for measuring the quality of deviation reporting: Applied to railway delay attribution. Journal Article.

Olsson & Haugland 2004. Influencing factors on train punctuality – results from some Norwegian studies. Journal Article.

Rietveld & Bruinsma & Van Vuuren 2001. Coping with unreliability in public transport chains: A case study for Netherlands. Journal Article.

Vromans & Dekker & Kroon 2006. Reliability and heterogeneity of railway services. Journal Article.

Yuan & Goverde & Hansen 2006. Evaluating stochastic train process time distribution models on the basis of empirical detection data. Conference Proceedings.

Yuan & Hansen 2002. Punctuality of train traffic in Dutch railway stations. Conference Proceedings.

Merkittävä  
osuma

Daamen & Goverde & Hansen & Weeda 2006. Monitoring system for reliability of transport chains. Conference Proceedings.

Daamen & Houben & Goverde & Hansen & Weeda 2008. Monitoring system for reliability of rail transport chains. Report.

De Fabris & Longo & Medeossi 2008. Automated analysis of train event recorder data to improve micro-simulation models. Conference Proceedings.

Dejax & Bookbinder 1991. Goods transportation by the French National Railway (SNCF): The measurement and marketing of reliability. Journal Article.

Florio & Malavasi & Salvini 1985. Analisi dei ritardi e verifica di un nodo ferroviario complesso [Analysis of delays and verification of a complex rail junction]. Magazine Article.

Lee 1998. Delay analysis for train operation. Conference Proceedings.

Milan 1996. The Trans European Railway Network : Three levels of services for the passengers. Journal Article.

Milan 1997. Comparison of the quality of rail and air networks in West, Central and Eastern Europe. Journal Article.

Sagareli 2004. Traction power systems reliability concepts. Conference Proceedings.

Salerno & Costalli & Guida 2008. Nuovo metodo di analisi dei ritardi e valutazione del "performance regime" [A new method for delay analysis and "performance regime" evaluation]. Magazine Article.

Trotter 1987. Measuring the quality of service: a note on British Rail's 'Q-Statistic'. Journal Article.



## AJAN ARVOTTAMINEN -teeman julkaisuja

Osuuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)  
täsmällisyyden  
tutkimuksen  
näkökulmasta

Täysosuma	<p>Bachman 1989. HSR vehicle performance characteristics. Journal Article.</p> <p>Bates &amp; Polak &amp; Jones &amp; Cook 2001. The valuation of reliability for personal travel. Journal Article.</p> <p>Carey &amp; Kwiecinski 1994. Swapping the order of scheduled services to minimize expected costs of delays. Journal Article.</p> <p>Cicerone &amp; D'Angelo &amp; Di Stefano &amp; Frigioni &amp; Navarra 2008. Delay management problem: Complexity results and robust algorithms. Conference Proceedings.</p> <p>Claesson &amp; Dahl &amp; Lindh 1989. Value of reliability in passenger train operations. Magazine Article.</p> <p>Cole &amp; Cooper 2005. Making the trains run on time: The tyranny of performance indicators. Journal Article.</p> <p>Debrincat &amp; Goldberg &amp; Duchâteau &amp; Kroes &amp; Kouwenhoven 2007. Regularity of trains in Ile de France: What does it mean to users? Journal Article.</p> <p>Fiedler 2005. Verlässlichkeit als Konkurrenzriterium [Reliability as a competitiveness criterion]. Magazine Article.</p> <p>Gatto &amp; Glaus &amp; Jacob &amp; Peeters &amp; Widmayer 2004. Railway delay management: Exploring its algorithmic complexity. Journal Article.</p> <p>Houben &amp; Rietveld &amp; van Hagen &amp; Daamen &amp; Moltzer 2006. Importance of reliability for transportation chains. Subjective versus objective reliability: chances for incentives? Report.</p> <p>Jiang &amp; Xu &amp; Xie 2007. Train delay propagation simulation in rail transit system. Conference Proceedings.</p> <p>Jochim 2000. Verkehrswirtschaftliche Ermittlung von Qualitätsmaßstäben im Eisenbahnbetrieb [Economic determination of quality benchmarks in railway operations]. Magazine Article.</p> <p>Landex &amp; Nielsen 2006. Simulation of disturbances and modelling of expected train passenger delays. Conference Proceedings.</p> <p>Nuzzolo &amp; Crisalli &amp; Gangemi 2000. A behavioural choice model for the evaluation of railway supply and pricing policies. Journal Article.</p> <p>Rietveld &amp; Bruinsma &amp; Van Vuuren 2001. Coping with unreliability in public transport chains: A case study for Netherlands. Journal Article.</p> <p>Takagi &amp; Goodman &amp; Roberts 2004. Optimising departure times at a transport interchange to improve connections when services are disrupted. Conference Proceedings.</p> <p>Tomii &amp; Tashiro &amp; Tanabe &amp; Hirai &amp; Muraki 2005. Train rescheduling algorithm which minimizes passengers' dissatisfaction. Journal Article.</p> <p>Tripp &amp; Drea 2002. Selecting and promoting service encounter elements in passenger rail transportation. Journal Article.</p> <p>Tseng &amp; Rietveld &amp; Verhoef 2004. A meta-analysis of valuation of travel time reliability. Report.</p> <p>Vansteenkeweg &amp; Van Oudheusden 2007. Decreasing the passenger waiting time for an intercity rail network. Journal Article.</p>
Merkittävä osuma	<p>Asensio &amp; Matas 2008. Commuters' valuation of travel time variability. Journal Article.</p> <p>Bieger &amp; Laesser 2001. The role of the railway with regard to mode choice in medium range travel. Journal Article.</p> <p>Bluvband &amp; Barel &amp; Zule 1997. IQLM: application for rail systems. Conference Proceedings.</p> <p>Chang &amp; Hsu 2001. Modeling passenger waiting time for intermodal transit stations. Journal Article.</p> <p>Chang &amp; Hsu 2003. Modeling of passenger waiting time in intermodal station with constrained capacity on intercity transit. Journal Article.</p> <p>Engelhardt-Funke &amp; Kolonko 2004. Analysing stability and investments in railway networks using advanced evolutionary algorithms. Journal Article.</p> <p>Evans &amp; Morrison 1997. Incorporating accident risk and disruption in economic models of public transport. Journal Article.</p> <p>Fearnley &amp; Bekken &amp; Norheim 2004. Optimal performance-based subsidies in Norwegian intercity rail transport. Journal Article.</p> <p>Ferreira 1997. Rail track infrastructure ownership: investment and operational issues. Journal Article.</p> <p>Gibson &amp; Cooper &amp; Ball 2002. Developments in transport policy: The evolution of capacity charges on the UK rail network. Journal Article.</p> <p>Ginkel &amp; Schöbel 2007. To wait or not to wait? The bicriteria delay management problem in public transportation. Journal Article.</p> <p>He &amp; Song &amp; Chaudhry 2003. An integrated dispatching model for rail yards operations. Journal Article.</p> <p>Ieda &amp; Kanayama &amp; Ota &amp; Yamazaki &amp; Okamura 2001. How can the quality of rail services in Tokyo be further improved? Journal Article.</p> <p>Johnson &amp; Nelson 1991. Market response to changes in attributes of a long-distance passenger rail service. Journal Article.</p> <p>Kroes &amp; Kouwenhoven &amp; Duchâteau &amp; Debrincat &amp; Goldberg 2007. Value of punctuality on suburban trains to and from Paris. Journal Article.</p> <p>Kumazawa &amp; Hara &amp; Koseki 2008. A novel train rescheduling algorithm for correcting disrupted train operations in a dense urban environment. Conference Proceedings.</p> <p>Liu &amp; Gao 2007. Study on railway transport service quality evaluation. Conference Proceedings.</p> <p>Murata &amp; Goodman 1998. Optimally regulating disturbed metro traffic with passenger inconvenience in mind. Conference Proceedings.</p> <p>Noland &amp; Polak 2002. Travel time variability: a review of theoretical and empirical issues. Journal Article.</p> <p>Olsson 2006. Impact analysis of railway projects in a flexibility perspective. Journal Article.</p> <p>Sakowitz &amp; Wendler 2006. Optimising train priorities to support the regulation of train services with the assistance of active and deductive databases. Conference Proceedings.</p> <p>Schmocker &amp; Cooper &amp; Adeney 2005. Metro service delay recovery: Comparison of strategies and constraints across systems. Journal Article.</p> <p>Törnquist 2007. Railway traffic disturbance management – An experimental analysis of disturbance complexity, management objectives and limitations in planning horizon. Journal Article.</p> <p>Ueda &amp; Goodman &amp; Sone 2004. Introduction of halt discomfort in the objective criteria of regulation for metro type railways. Conference Proceedings.</p> <p>Van Schijndel &amp; Dinwoodie 2000. Congestion and multimodal transport: a survey of cargo transport operators in the Netherlands. Journal Article.</p> <p>Vansteenkeweg &amp; Oudheusden 2006. Developing railway timetables which guarantee a better service. Journal Article.</p>

JOHTAMISEN KEHITTÄMINEN -teeman julkaisuja

Osuvuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi) täsmällisyys- tutkimuksen näkökulmasta	
Täysosuma	<p>Cole &amp; Cooper 2005. Making the trains run on time: The tyranny of performance indicators. Journal Article.</p> <p>De Bruijn &amp; De Bruijne &amp; Steenhuisen 2007. Managing infrastructure vulnerability. Conference Proceedings.</p> <p>Galetzka &amp; Gelders &amp; Verckens &amp; Seydel 2008. Transparency and performance communication: a case study of Dutch Railways. Journal Article.</p> <p>Granström 2008. A system and stakeholder approach for the identification of condition information: A case study for the Swedish railway. Journal Article.</p> <p>Heimann 1979. Determination of transit system dependability. Conference Proceedings.</p> <p>Higgins &amp; Kozan 1998. Modeling train delays in urban networks. Journal Article.</p> <p>Houben &amp; Rietveld &amp; van Hagen &amp; Daamen &amp; Moltzer 2006. Importance of reliability for transportation chains. Subjective versus objective reliability: chances for incentives? Report.</p> <p>Kauppi &amp; Wikström &amp; Sandblad &amp; Andersson 2006. Future train traffic control: control by re-planning. Journal Article.</p> <p>Nash &amp; Weidmann &amp; Bollinger &amp; Luethi &amp; Buchmueller 2006. Increasing schedule reliability on the S-Bahn in Zurich, Switzerland computer analysis and simulation. Journal Article.</p> <p>Nyström 2008. A methodology for measuring the quality of deviation reporting: Applied to railway delay attribution. Journal Article.</p> <p>Shoji &amp; Igarashi 1997. New trends of train control and management systems with real-time and non real-time properties. Conference Proceedings.</p> <p>Tadi &amp; Palaniswamy 1984. Comparison of various freight train dispatching policies for Indian railways. Journal Article.</p> <p>Tripp &amp; Drea 2002. Selecting and promoting service encounter elements in passenger rail transportation. Journal Article.</p>
Merkittävä osuma	<p>Barter 2004. Forecasting robustness of timetables. Conference Proceedings.</p> <p>Casson 2004. The future of the UK railway system: Michael Brooke's vision. Journal Article.</p> <p>Fearnley &amp; Bekken &amp; Norheim 2004. Optimal performance-based subsidies in Norwegian intercity rail transport. Journal Article.</p> <p>Ferreira &amp; Higgins 1998. Scheduling rail track maintenance. Conference Proceedings.</p> <p>McTavish &amp; Maidment 1989. Quality monitoring in British Rail. Magazine Article.</p> <p>Ricci &amp; Tieri 2008. A Petri nets based decision support tool for railway traffic conflicts forecasting and resolution. Conference Proceedings.</p> <p>Sakowitz &amp; Wendler 2006. Optimising train priorities to support the regulation of train services with the assistance of active and deductive databases. Conference Proceedings.</p> <p>Salerno &amp; Costalli &amp; Guida 2008. Nuovo metodo di analisi dei ritardi e valutazione del "performance regime" [A new method for delay analysis and "performance regime" evaluation]. Magazine Article.</p> <p>Schmocker &amp; Cooper &amp; Adeney 2005. Metro service delay recovery: Comparison of strategies and constraints across systems. Journal Article.</p>



PALVELUN LAADUN PARANTAMINEN -teeman julkaisu

Osuvuus  
Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)  
täsmällisyys-  
tutkimuksen  
näkökulmasta

Täysosuma

Bachman 1989. HSR vehicle performance characteristics. Journal Article.

Cavana & Corbett & Lo 2007. Developing zones of tolerance for managing passenger rail service quality. Journal Article.

Cole & Cooper 2005. Making the trains run on time: The tyranny of performance indicators. Journal Article.

Debrincat & Goldberg & Duchâteau & Kroes & Kouwenhoven 2007. Regularity of trains in Ile de France: What does it mean to users? Journal Article.

Fiedler 2005. Verlässlichkeit als Konkurrenzriterium [Reliability as a competitiveness criterion]. Magazine Article.

Galetzka & Gelders & Verckens & Seydel 2008. Transparency and performance communication: a case study of Dutch Railways. Journal Article.

Gelders & Galetzka & Verckens & Seydel 2008. Showing results? An analysis of the perceptions of internal and external stakeholders of the public performance communication by the Belgian and Dutch Railways. Journal Article.

Higgins & Kozan 1998. Modeling train delays in urban networks. Journal Article.

Houben & Rietveld & van Hagen & Daamen & Moltzer 2006. Importance of reliability for transportation chains. Subjective versus objective reliability: chances for incentives? Report.

Jochim 2000. Verkehrswirtschaftliche Ermittlung von Qualitätsmassstaben im Eisenbahnbetrieb [Economic determination of quality benchmarks in railway operations]. Magazine Article.

Lampe 1991. Qualitätsmerkmal Pünktlichkeit [Punctuality – a quality feature]. Journal Article.

Nathanail 2008. Measuring the quality of service for passengers on the Hellenic railways. Journal Article.

Nelson & O'Neil 2000. Commuter rail service reliability: On-time performance and causes for delays. Journal Article.

Tomii & Tashiro & Tanabe & Hirai & Muraki 2005. Train rescheduling algorithm which minimizes passengers' dissatisfaction. Journal Article.

Tripp & Drea 2002. Selecting and promoting service encounter elements in passenger rail transportation. Journal Article.

Yin & Lam & Miller 2003. A simulation-based reliability assessment approach for congested transit network. Journal Article.

Yuan & Hansen 2004. Analysis of scheduled and real capacity utilisation at a major Dutch Railway station. Conference Proceedings.

Merkittävä osuma

Badcock 2006. More trains on TIME more often. Magazine Article.

Bhat & Sardesai 2006. The impact of stop-making and travel time reliability on commute mode choice. Journal Article.

Bieger & Laesser 2001. The role of the railway with regard to mode choice in medium range travel. Journal Article.

Bimmermann 1987. Concept of a future traffic control and supervision system. Magazine Article.

Brons & Givoni & Rietveld 2009. Access to railway stations and its potential in increasing rail use. Journal Article.

Casson 2004. The future of the UK railway system: Michael Brooke's vision. Journal Article.

Ding & Chien 2001. Improving transit service quality and headway regularity with real-time control. Journal Article.

Fay 2000. A fuzzy knowledge-based system for railway traffic control. Journal Article.

Fearnley & Bekken & Norheim 2004. Optimal performance-based subsidies in Norwegian intercity rail transport. Journal Article.

Fioole & Kroon & Maróti & Schrijver 2006. A rolling stock circulation model for combining and splitting of passenger trains. Journal Article.

Ieda & Kanayama & Ota & Yamazaki & Okamura 2001. How can the quality of rail services in Tokyo be further improved? Journal Article.

Kumazawa & Hara & Koseki 2008. A novel train rescheduling algorithm for correcting disrupted train operations in a dense urban environment. Conference Proceedings.

Lam & Cheung & Lam 1999. A study of crowding effects at the Hong Kong light rail transit stations. Journal Article.

Liu & Gao 2007. Study on railway transport service quality evaluation. Conference Proceedings.

McTavish & Maidment 1989. Quality monitoring in British Rail. Magazine Article.

Milan 1996. The Trans European Railway Network : Three levels of services for the passengers. Journal Article.

Milan 1997. Comparison of the quality of rail and air networks in West, Central and Eastern Europe. Journal Article.

Nash & Ullius 2004. Optimizing railway timetables with OpenTimeTable. Conference Proceedings.

Schmocker & Cooper & Adeney 2005. Metro service delay recovery: Comparison of strategies and constraints across systems. Journal Article.

Seewald 2002. Railroads fail to deliver on service. Journal Article.

Shimizu & Tanabe & Honda & Yasura 2006. The new Shinkansen rescheduling system for drivers and crew. Conference Proceedings.

Törnquist & Gustafsson 2004. Perceived benefits of improved information exchange – a case study on rail and intermodal transports. Journal Article.

Trotter 1987. Measuring the quality of service: a note on British Rail's 'Q-Statistic'. Journal Article.

Ueda & Goodman & Sone 2004. Introduction of halt discomfort in the objective criteria of regulation for metro type railways. Conference Proceedings.

Vansteenwegen & Oudheusden 2006. Developing railway timetables which guarantee a better service. Journal Article.



## LUOTETTAVUUDEN LISÄÄMINEN -teeman julkaisu

Osuuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)

täsmällisyys-  
tutkimuksen  
näkökulmasta

Täysosuma	<p>Bates &amp; Polak &amp; Jones &amp; Cook 2001. The valuation of reliability for personal travel. Journal Article.</p> <p>Carey 1994. Reliability of interconnected scheduled services. Journal Article.</p> <p>Carey &amp; Carville 2000. Testing schedule performance and reliability for train stations. Journal Article.</p> <p>Claesson &amp; Dahl &amp; Lindh 1989. Value of reliability in passenger train operations. Magazine Article.</p> <p>Daamen &amp; Goverde &amp; Hansen 2009. Non-discriminatory automatic registration of knock-on train delays. Journal Article.</p> <p>De Bruijn &amp; De Bruijne &amp; Steenhuisen 2007. Managing infrastructure vulnerability. Conference Proceedings.</p> <p>Demitz &amp; Hübschen &amp; Albrecht 2004. Timetable stability - Using simulation to ensure quality in a regular interval timetable. Conference Proceedings.</p> <p>Fiedler 2005. Verlässlichkeit als Konkurrenzriterium [Reliability as a competitiveness criterion]. Magazine Article.</p> <p>Fukami &amp; Yamamoto &amp; Hatanaka &amp; Terada 2006. A new delay forecasting system for the Passenger Information Control system (PIC) of the Tokaido-Sanyo Shinkansen. Conference Proceedings.</p> <p>Giannopoulos 1985. Travel time and delay factors on Greek railways: an analysis of the existing situation and proposals for short-term improvements. Magazine Article.</p> <p>Goverde 2005. Punctuality of railway operations and timetable stability analysis. Dissertation/Thesis.</p> <p>Guarnieri 1980. L'esercizio ferroviario: il servizio viaggiatori, con particolare riferimento ai problemi del nodo di Milano [Railway operation: The passenger service with particular reference to the problems of the railway center of Milan]. Magazine Article.</p> <p>Higgins &amp; Kozan 1998. Modeling train delays in urban networks. Journal Article.</p> <p>Higgins &amp; Kozan &amp; Ferreira 1995. Modelling delay risks associated with train schedules. Journal Article.</p> <p>Houben &amp; Rietveld &amp; van Hagen &amp; Daamen &amp; Moltzer 2006. Importance of reliability for transportation chains. Subjective versus objective reliability: chances for incentives? Report.</p> <p>Jiang &amp; Xu &amp; Xie 2007. Train delay propagation simulation in rail transit system. Conference Proceedings.</p> <p>Jovanovic 1989. Improving railroad on-time performance: Models, algorithms and applications. Dissertation/Thesis.</p> <p>Lampe 1991. Qualitätsmerkmal Pünktlichkeit [Punctuality – a quality feature]. Journal Article.</p> <p>Landex &amp; Nielsen 2006. Simulation of disturbances and modelling of expected train passenger delays. Conference Proceedings.</p> <p>Mao &amp; Yang &amp; Wang 1998. Statistical and simulation-based models for progression prediction of train delays on busy railway lines. Conference Proceedings.</p> <p>Mattsson 2007. Railway capacity and train delay relationships. Book, Section.</p> <p>Nash &amp; Weidmann &amp; Bollinger &amp; Luethi &amp; Buchmueller 2006. Increasing schedule reliability on the S-Bahn in Zurich, Switzerland computer analysis and simulation. Journal Article.</p> <p>Nelson &amp; O'Neil 2000. Commuter rail service reliability: On-time performance and causes for delays. Journal Article.</p> <p>Nyström 2008. A methodology for measuring the quality of deviation reporting: Applied to railway delay attribution. Journal Article.</p> <p>Rietveld &amp; Bruinsma &amp; Van Vuuren 2001. Coping with unreliability in public transport chains: A case study for Netherlands. Journal Article.</p> <p>Thornes &amp; Davis 2002. Mitigating the impact of weather and climate on railway operations in the UK. Conference Proceedings.</p> <p>Tomii &amp; Tashiro &amp; Tanabe &amp; Hirai &amp; Muraki 2005. Train rescheduling algorithm which minimizes passengers' dissatisfaction. Journal Article.</p> <p>Tseng &amp; Rietveld &amp; Verhoef 2004. A meta-analysis of valuation of travel time reliability. Report.</p> <p>Veiseth &amp; Olsson &amp; Saetermo 2007. Infrastructure's influence on rail punctuality. Conference Proceedings.</p> <p>Vromans 2005. Reliability of railway systems. Dissertation/Thesis.</p> <p>Vromans &amp; Dekker &amp; Kroon 2006. Reliability and heterogeneity of railway services. Journal Article.</p> <p>Yin &amp; Lam &amp; Miller 2003. A simulation-based reliability assessment approach for congested transit network. Journal Article.</p> <p>Yuan 2007. Dealing with stochastic dependence in the modeling of train delays and delay propagation. Conference Proceedings.</p> <p>Yuan &amp; Hansen 2002. Punctuality of train traffic in Dutch railway stations. Conference Proceedings.</p>
Merkittävä osuma	<p>Alston &amp; Davies 1970. Cybernetic operation of railway traffic. Magazine Article.</p> <p>Bhat &amp; Sardesai 2006. The impact of stop-making and travel time reliability on commute mode choice. Journal Article.</p> <p>Bimmermann 1987. Concept of a future traffic control and supervision system. Magazine Article.</p> <p>Carey &amp; Kwiecinski 1995. Properties of expected costs and performance measures in stochastic models of scheduled transport. Journal Article.</p> <p>Chang &amp; Hsu 2001. Modeling passenger waiting time for intermodal transit stations. Journal Article.</p> <p>Chang &amp; Hsu 2003. Modeling of passenger waiting time in intermodal station with constrained capacity on intercity transit. Journal Article.</p> <p>Daamen &amp; Goverde &amp; Hansen &amp; Weeda 2006. Monitoring system for reliability of transport chains. Conference Proceedings.</p> <p>Daamen &amp; Houben &amp; Goverde &amp; Hansen &amp; Weeda 2008. Monitoring system for reliability of rail transport chains. Report.</p> <p>Dejax &amp; Bookbinder 1991. Goods transportation by the French National Railway (SNCF): The measurement and marketing of reliability. Journal Article.</p> <p>Dure 1999. Maximizing operating reliability in design of long single-track light rail transit lines. Journal Article.</p> <p>Ferreira 1997. Rail track infrastructure ownership: investment and operational issues. Journal Article.</p> <p>Fioole &amp; Kroon &amp; Maróti &amp; Schrijver 2006. A rolling stock circulation model for combining and splitting of passenger trains. Journal Article.</p> <p>Gibson &amp; Cooper &amp; Ball 2002. Developments in transport policy: The evolution of capacity charges on the UK rail network. Journal Article.</p> <p>Goverde 2007. Railway timetable stability analysis using max-plus system theory. Journal Article.</p> <p>Hallowell &amp; Harker 1998. Predicting on-time performance in scheduled railroad operations: methodology and application to train scheduling. Journal Article.</p> <p>Hansen 2006. State-of-the-art of railway operations research. Conference Proceedings.</p> <p>Hirai &amp; Tomii 1998. Evaluation of train interval adjustment algorithms for congested metropolitan railway lines. Journal Article.</p> <p>Jia &amp; Chen &amp; Ho &amp; Mao &amp; Bai 2008. A heuristic algorithm for fixed train runtime. Conference Proceedings.</p> <p>Johnson &amp; Nelson 1991. Market response to changes in attributes of a long-distance passenger rail service. Journal Article.</p> <p>Liu &amp; Gao 2007. Study on railway transport service quality evaluation. Conference Proceedings.</p> <p>Petersen &amp; Taylor 1987. Design of single-track rail line for high-speed trains. Journal Article.</p> <p>Sagarelli 2004. Traction power systems reliability concepts. Conference Proceedings.</p> <p>Seewald 2002. Railroads fail to deliver on service. Journal Article.</p> <p>Shimizu &amp; Tanabe &amp; Honda &amp; Yasura 2006. The new Shinkansen rescheduling system for drivers and crew. Conference Proceedings.</p> <p>Törnquist 2007. Railway traffic disturbance management – An experimental analysis of disturbance complexity, management objectives and limitations in planning horizon. Journal Article.</p> <p>Vromans &amp; Dekker &amp; Kroon 2004. Simulation and railway timetabling norms. Conference Proceedings.</p>



## HÄIRIÖSIETOISUUDEN PARANTAMINEN -teeman julkaisuja

Osuuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)  
tasmällisyys-  
tutkimuksen  
näkökulmasta

Täysosuma	<p>Carey 1999. Ex ante heuristic measures of schedule reliability. Journal Article.</p> <p>Carey &amp; Carville 2000. Testing schedule performance and reliability for train stations. Journal Article.</p> <p>Carey &amp; Kwiecinski 1994. Stochastic approximation to the effects of headways on knock-on delays of trains. Journal Article.</p> <p>Cicerone &amp; D'Angelo &amp; Di Stefano &amp; Frigioni &amp; Navarra 2008. Delay management problem: Complexity results and robust algorithms. Conference Proceedings.</p> <p>D'Ariano &amp; Albrecht 2006. Running time re-optimization during real-time timetable perturbations. Conference Proceedings.</p> <p>D'Ariano &amp; Pacciarelli &amp; Pranzo 2008. Assessment of flexible timetables in real-time traffic management of a railway bottleneck. Journal Article.</p> <p>D'Ariano &amp; Pranzo 2009. An advanced real-time train dispatching system for minimizing the propagation of delays in a dispatching area under severe disturbances. Journal Article.</p> <p>De Bruijn &amp; De Bruijne &amp; Steenhuisen 2007. Managing infrastructure vulnerability. Conference Proceedings.</p> <p>Goverde 2005. Punctuality of railway operations and timetable stability analysis. Dissertation/Thesis.</p> <p>Goverde &amp; Daamen &amp; Hansen 2008. Automatic identification of route conflict occurrences and their consequences. Conference Proceedings.</p> <p>Kikuchi 1983. Snow countermeasures of the Tohoku &amp; Joetsu Shinkansen lines. Journal Article.</p> <p>Kroon &amp; Maróti &amp; Helmrich &amp; Vromans &amp; Dekker 2008. Stochastic improvement of cyclic railway timetables. Journal Article.</p> <p>Lindfeldt 2006. Influences of station length and inter-station distance on delays and delay propagation on single-track lines with regional rail traffic. Conference Proceedings.</p> <p>Mattsson 2007. Railway capacity and train delay relationships. Book, Section.</p> <p>Takagi &amp; Weston &amp; Goodman &amp; Bouch &amp; Armstrong &amp; Preston &amp; Sone 2006. Optimal train control at a junction in the main line rail network using a new object-oriented signalling system model. Conference Proceedings.</p> <p>Vansteenwegen &amp; Van Oudheusden 2007. Decreasing the passenger waiting time for an intercity rail network. Journal Article.</p> <p>Weeda &amp; Wiggeraad 2006. Joint design standard for running times, dwell times and headway times. Conference Proceedings.</p> <p>Yuan 2007. Dealing with stochastic dependence in the modeling of train delays and delay propagation. Conference Proceedings.</p>
Merkittävä osuma	<p>Albrecht &amp; Goverde &amp; Weeda &amp; Van Luipen 2006. Reconstruction of train trajectories from track occupation data to determine the effects of a Driver Information System. Conference Proceedings.</p> <p>Bandara &amp; Ekanayake 2003. Train scheduling simulation that minimises operational conflicts due to service constraints. Journal Article.</p> <p>Barter 2004. Forecasting robustness of timetables. Conference Proceedings.</p> <p>Chandesris 2006. Statistical method for the evaluation of railway systems modifications. Conference Proceedings.</p> <p>D'Ariano &amp; Pranzo &amp; Hansen 2007. Conflict resolution and train speed coordination for solving real-time timetable perturbations. Journal Article.</p> <p>De Schutter &amp; van den Boom &amp; Hegyi 2002. Model predictive control approach for recovery from delays in railway systems. Journal Article.</p> <p>Delorme &amp; Gandibleux &amp; Rodriguez 2009. Stability evaluation of a railway timetable at station level. Journal Article.</p> <p>Ding &amp; Chien 2001. Improving transit service quality and headway regularity with real-time control. Journal Article.</p> <p>Engelhardt-Funke &amp; Kolonko 2004. Analysing stability and investments in railway networks using advanced evolutionary algorithms. Journal Article.</p> <p>Fay 2000. A fuzzy knowledge-based system for railway traffic control. Journal Article.</p> <p>Goverde 2007. Railway timetable stability analysis using max-plus system theory. Journal Article.</p> <p>Hansen 2000. Station capacity and stability of train operations. Conference Proceedings.</p> <p>Hansen 2006. State-of-the-art of railway operations research. Conference Proceedings.</p> <p>Hooghiemstra &amp; Teunisse 1998. Use of simulation in the planning of the Dutch railway services. Conference Proceedings.</p> <p>Jacobs 2004. Reducing delays by means of computer-aided 'on-the-spot' rescheduling. Conference Proceedings.</p> <p>Jia &amp; Chen &amp; Ho &amp; Mao &amp; Bai 2008. A heuristic algorithm for fixed train runtime. Conference Proceedings.</p> <p>Kumazawa &amp; Hara &amp; Koseki 2008. A novel train rescheduling algorithm for correcting disrupted train operations in a dense urban environment. Conference Proceedings.</p> <p>Luethi &amp; Medeoossi &amp; Nash 2009. Structure and simulation evaluation of an integrated real-time rescheduling system for railway networks. Journal Article.</p> <p>Mao &amp; Jia &amp; Chen &amp; Liu 2007. A computer-aided multi-train simulator for rail traffic. Conference Proceedings.</p> <p>Petersen &amp; Taylor 1987. Design of single-track rail line for high-speed trains. Journal Article.</p> <p>Ricci &amp; Tieri 2008. A Petri nets based decision support tool for railway traffic conflicts forecasting and resolution. Conference Proceedings.</p> <p>Sinha &amp; Rajput &amp; Asthana 1990. EXDAFS – An expert system for dynamic allocation of facilities at stations. Conference Proceedings.</p> <p>Spieß 2005. Schmierfilm auf den Schienen – Systemlösungen für das Herbstproblem [Leaves on the track – Solutions for the autumn problem using a system approach]. Journal Article.</p> <p>Törnquist 2007. Railway traffic disturbance management – An experimental analysis of disturbance complexity, management objectives and limitations in planning horizon. Journal Article.</p> <p>van den Boom &amp; De Schutter 2004. Modeling and control of railway networks. Conference Proceedings.</p> <p>Wendler &amp; Nießen 2008. Stochastische Modelle in der Eisenbahnbetriebswissenschaft [Stochastic models in railway operations research]. Journal Article.</p>

## JÄRJESTELMÄN OPTIMOINTI -teeman julkaisuja (1)

Osuvuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)

täsmällisyys-

tutkimuksen

näkökulmasta

Täysosuma

- Carey 1994. Reliability of interconnected scheduled services. Journal Article.
- Carey & Carville 2000. Testing schedule performance and reliability for train stations. Journal Article.
- Cicerone & D'Angelo & Di Stefano & Frigioni & Navarra 2008. Delay management problem: Complexity results and robust algorithms. Conference Proceedings.
- D'Ariano & Pacciarelli & Pranzo 2008. Assessment of flexible timetables in real-time traffic management of a railway bottleneck. Journal Article.
- D'Ariano & Pranzo 2009. An advanced real-time train dispatching system for minimizing the propagation of delays in a dispatching area under severe disturbances. Journal Article.
- Gatto & Glaus & Jacob & Peeters & Widmayer 2004. Railway delay management: Exploring its algorithmic complexity. Journal Article.
- Gatto & Jacob & Peeters & Widmayer 2007. Online delay management on a single train line. Conference Proceedings.
- Gouweloos & Bartholomeus 2007. An estimate of the punctuality benefits of automatic operational train sequencing. Conference Proceedings.
- Goverde & Daamen & Hansen 2008. Automatic identification of route conflict occurrences and their consequences. Conference Proceedings.
- Hansen 2001. Improving railway punctuality by automatic piloting. Conference Proceedings.
- Heimann 1979. Determination of transit system dependability. Conference Proceedings.
- Jiang & Xu & Xie 2007. Train delay propagation simulation in rail transit system. Conference Proceedings.
- Jovanovic 1989. Improving railroad on-time performance: Models, algorithms and applications. Dissertation/Thesis.
- Kroon & Maróti & Helmrich & Vromans & Dekker 2008. Stochastic improvement of cyclic railway timetables. Journal Article.
- Peters & Emig & Jung & Schmidt 2005. Prediction of delays in public transportation using neural networks. Conference Proceedings.
- Schöbel 2007. Integer programming approaches for solving the delay management problem. Conference Proceedings.
- Takagi & Goodman & Roberts 2004. Optimising departure times at a transport interchange to improve connections when services are disrupted. Conference Proceedings.
- Takagi & Weston & Goodman & Bouch & Armstrong & Preston & Sone 2006. Optimal train control at a junction in the main line rail network using a new object-oriented signalling system model. Conference Proceedings.
- Tomii & Tashiro & Tanabe & Hirai & Muraki 2005. Train rescheduling algorithm which minimizes passengers' dissatisfaction. Journal Article.
- Vansteenwegen & Van Oudheusden 2007. Decreasing the passenger waiting time for an intercity rail network. Journal Article.
- Weeda & Wiggensraad 2006. Joint design standard for running times, dwell times and headway times. Conference Proceedings.
- Yuan 2006. Stochastic modelling of train delays and delay propagation in stations. Dissertation/Thesis.
- Yuan & Hansen 2004. Analysis of scheduled and real capacity utilisation at a major Dutch Railway station. Conference Proceedings.
- Yuan & Hansen 2007. Optimizing capacity utilization of stations by estimating knock-on train delays. Journal Article.
- Yuan & Hansen 2008. Closed form expressions of optimal buffer times between scheduled trains at railway bottlenecks. Conference Proceedings.



## JÄRJESTELMÄN OPTIMOINTI -teeman julkaisuja (2)

Osuuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)

täsmällisyys-

tutkimuksen

näkökulmasta

Merkittävä  
osuma

- Anderegg & Penna & Widmayer 2002. Online train disposition: To wait or not to wait? Conference Proceedings.
- Anon. 2007. Algorithmic methods for railway optimization – International Dagstuhl workshop 2004. Conference Proceedings.
- Bandara & Ekanayake 2003. Train scheduling simulation that minimises operational conflicts due to service constraints. Journal Article.
- Barter 2004. Forecasting robustness of timetables. Conference Proceedings.
- Bluvband & Barel & Zule 1997. IQLM: application for rail systems. Conference Proceedings.
- Carey & Carville 2003. Scheduling and platforming trains at busy complex stations. Journal Article.
- Carey & Kwiecinski 1995. Properties of expected costs and performance measures in stochastic models of scheduled transport. Journal Article.
- Casson 2004. The future of the UK railway system: Michael Brooke's vision. Journal Article.
- Chakroborty & Vikram 2008. Optimum assignment of trains to platforms under partial schedule compliance. Journal Article.
- Csikós & Currie 2008. Investigating consistency in transit passenger arrivals – Insights from longitudinal automated fare collection data. Journal Article.
- D'Ariano 2008. Improving real-time train dispatching: models, algorithms and applications. Dissertation/Thesis.
- De Schutter & van den Boom & Hegyi 2002. Model predictive control approach for recovery from delays in railway systems. Journal Article.
- Delorme & Gandibleux & Rodriguez 2009. Stability evaluation of a railway timetable at station level. Journal Article.
- Engelhardt-Funke & Kolonko 2004. Analysing stability and investments in railway networks using advanced evolutionary algorithms. Journal Article.
- Fay 2000. A fuzzy knowledge-based system for railway traffic control. Journal Article.
- Fioole & Kroon & Maróti & Schrijver 2006. A rolling stock circulation model for combining and splitting of passenger trains. Journal Article.
- Flamini & Pacciarelli 2008. Real time management of a metro rail terminus. Journal Article.
- Fotea 1976. Determination of the number of reception sidings, having regard to the probability of delays to trains. Magazine Article.
- Ginkel & Schöbel 2007. To wait or not to wait? The bicriteria delay management problem in public transportation. Journal Article.
- Hallowell & Harker 1998. Predicting on-time performance in scheduled railroad operations: methodology and application to train scheduling. Journal Article.
- Hansen 2000. Station capacity and stability of train operations. Conference Proceedings.
- Hansen 2006. State-of-the-art of railway operations research. Conference Proceedings.
- He & Song & Chaudhry 2003. An integrated dispatching model for rail yards operations. Journal Article.
- Heidergott & Vries 2001. Towards a (max,+) control theory for public transportation networks. Journal Article.
- Ho & Norton & Goodman 1997. Optimal traffic control at railway junctions. Journal Article.
- Huisman & Boucherie 2001. Running times on railway sections with heterogeneous train traffic. Journal Article.
- Lindfeldt 2007. Quality on single-track railway lines with passenger traffic: Analytical model for evaluation of crossing stations and partial double-tracks. Dissertation/Thesis.
- Liu & He & Wang & An 2007. Stochastic chance constrained programming model and solution of marshalling station dispatching plan. Journal Article.
- Luethi & Medeoosi & Nash 2009. Structure and simulation evaluation of an integrated real-time rescheduling system for railway networks. Journal Article.
- Murata & Goodman 1998. Optimally regulating disturbed metro traffic with passenger inconvenience in mind. Conference Proceedings.
- Nash & Ullius 2004. Optimizing railway timetables with OpenTimeTable. Conference Proceedings.
- Olsson 2006. Impact analysis of railway projects in a flexibility perspective. Journal Article.
- Rodrigue 2008. The Thruport concept and transmodal rail freight distribution in North America. Journal Article.
- Rodriguez 2008. An incremental decision algorithm for railway traffic optimisation in a complex station. Conference Proceedings.
- Sagareli 2004. Traction power systems reliability concepts. Conference Proceedings.
- Sakowitz & Wendler 2006. Optimising train priorities to support the regulation of train services with the assistance of active and deductive databases. Conference Proceedings.
- Schmocker & Cooper & Adeney 2005. Metro service delay recovery: Comparison of strategies and constraints across systems. Journal Article.
- Törnquist 2007. Railway traffic disturbance management – An experimental analysis of disturbance complexity, management objectives and limitations in planning horizon. Journal Article.
- Turnquist & Daskin 1982. Queueing models of classification and connection delay in railyards. Journal Article.
- Ueda & Goodman & Sone 2004. Introduction of halt discomfort in the objective criteria of regulation for metro type railways. Conference Proceedings.
- Wang 2004. Study on the application of rough set in railway dispatching system. Journal Article.
- Zhang & Xu & Zhao 2008. The application of dynamic planning algorithm in automatic adjustment of train operation stage schedule for railway junction. Conference Proceedings.
- Zio & Marella & Podofilini 2007. Importance measures-based prioritization for improving the performance of multi-state systems: application to the railway industry. Journal Article.

## PÄÄTÖKSENTEON TUKIJÄRJESTELMÄT -teeman julkaisuja

Osuvuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)

täsmällisyys-

tutkimuksen

näkökulmasta

Täysosuma

- Carey & Carville 2000. Testing schedule performance and reliability for train stations. Journal Article.
- Carey & Kwiecinski 1994. Swapping the order of scheduled services to minimize expected costs of delays. Journal Article.
- Cole & Cooper 2005. Making the trains run on time: The tyranny of performance indicators. Journal Article.
- De Bruijn & De Bruijne & Steenhuisen 2007. Managing infrastructure vulnerability. Conference Proceedings.
- Goverde & Daamen & Hansen 2008. Automatic identification of route conflict occurrences and their consequences. Conference Proceedings.
- Gvanström 2008. A system and stakeholder approach for the identification of condition information: A case study for the Swedish railway. Journal Article.
- Hansen 2001. Improving railway punctuality by automatic piloting. Conference Proceedings.
- Higgins & Kozan 1998. Modeling train delays in urban networks. Journal Article.
- Jiang & Xu & Xie 2007. Train delay propagation simulation in rail transit system. Conference Proceedings.
- Jovanovic 1989. Improving railroad on-time performance: Models, algorithms and applications. Dissertation/Thesis.
- Landex & Nielsen 2006. Simulation of disturbances and modelling of expected train passenger delays. Conference Proceedings.
- Lindfeldt 2008. Evaluation of punctuality on a heavily utilised railway line with mixed traffic. Conference Proceedings.
- Nyström 2008. A methodology for measuring the quality of deviation reporting: Applied to railway delay attribution. Journal Article.
- Schöbel 2007. Integer programming approaches for solving the delay management problem. Conference Proceedings.
- Takagi & Goodman & Roberts 2004. Optimising departure times at a transport interchange to improve connections when services are disrupted. Conference Proceedings.
- Tomii & Tashiro & Tanabe & Hirai & Muraki 2005. Train rescheduling algorithm which minimizes passengers' dissatisfaction. Journal Article.
- Veiseth & Olsson & Saetermo 2007. Infrastructure's influence on rail punctuality. Conference Proceedings.
- Xun & Ning & Li 2007. Network-based train-following model and study of train's delay propagation. Journal Article.
- Yuan & Hansen 2004. Analysis of scheduled and real capacity utilisation at a major Dutch Railway station. Conference Proceedings.
- Yuan & Hansen 2007. Optimizing capacity utilization of stations by estimating knock-on train delays. Journal Article.
- Zhou & Gao & Li 2006. Cellular automaton model for moving-like block system and study of train's delay propagation. Journal Article.
- Merkittävä osuma
- Alston & Davies 1970. Cybernetic operation of railway traffic. Magazine Article.
- Anderegg & Penna & Widmayer 2002. Online train disposition: To wait or not to wait? Conference Proceedings.
- Anon. 2007. Algorithmic methods for railway optimization – International Dagstuhl workshop 2004. Conference Proceedings.
- Bluvband & Barel & Zule 1997. IQLM: application for rail systems. Conference Proceedings.
- Carey & Carville 2003. Scheduling and platforming trains at busy complex stations. Journal Article.
- Carey & Kwiecinski 1995. Properties of expected costs and performance measures in stochastic models of scheduled transport. Journal Article.
- Chakroborty & Vikram 2008. Optimum assignment of trains to platforms under partial schedule compliance. Journal Article.
- Chandesris 2006. Statistical method for the evaluation of railway systems modifications. Conference Proceedings.
- Chang & Hsu 2001. Modeling passenger waiting time for intermodal transit stations. Journal Article.
- Chang & Hsu 2003. Modeling of passenger waiting time in intermodal station with constrained capacity on intercity transit. Journal Article.
- D'Ariano 2008. Improving real-time train dispatching: models, algorithms and applications. Dissertation/Thesis.
- Delorme & Gandibleux & Rodriguez 2009. Stability evaluation of a railway timetable at station level. Journal Article.
- Dure 1999. Maximizing operating reliability in design of long single-track light rail transit lines. Journal Article.
- Fay 2000. A fuzzy knowledge-based system for railway traffic control. Journal Article.
- Furth 1995. Headway control strategy for recovering from transit vehicle delays. Conference Proceedings.
- Ginkel & Schöbel 2007. To wait or not to wait? The bicriteria delay management problem in public transportation. Journal Article.
- Hooghiemstra & Teunisse 1998. Use of simulation in the planning of the Dutch railway services. Conference Proceedings.
- Huisman & Boucherie 2001. Running times on railway sections with heterogeneous train traffic. Journal Article.
- Kumazawa & Hara & Koseki 2008. A novel train rescheduling algorithm for correcting disrupted train operations in a dense urban environment. Conference Proceedings.
- Ricci & Tieri 2008. A Petri nets based decision support tool for railway traffic conflicts forecasting and resolution. Conference Proceedings.
- Sakowitz & Wendler 2006. Optimising train priorities to support the regulation of train services with the assistance of active and deductive databases. Conference Proceedings.
- Schmocker & Cooper & Adeney 2005. Metro service delay recovery: Comparison of strategies and constraints across systems. Journal Article.
- Törnquist 2007. Railway traffic disturbance management – An experimental analysis of disturbance complexity, management objectives and limitations in planning horizon. Journal Article.
- Törnquist & Gustafsson 2004. Perceived benefits of improved information exchange – a case study on rail and intermodal transports. Journal Article.
- Wang 2004. Study on the application of rough set in railway dispatching system. Journal Article.
- Zio & Marella & Podofilini 2007. Importance measures-based prioritization for improving the performance of multi-state systems: application to the railway industry. Journal Article.



## AIKATAULU- JA KAPASITEETTISUUNNITTELU -teeman julkaisuja (1)

Osuuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)

täsmällisyys-

tutkimuksen

näkökulmasta

Täysosuma

- Carey 1994. Reliability of interconnected scheduled services. Journal Article.
- Carey 1999. Ex ante heuristic measures of schedule reliability. Journal Article.
- Carey & Carville 2000. Testing schedule performance and reliability for train stations. Journal Article.
- Carey & Kwiecinski 1994. Stochastic approximation to the effects of headways on knock-on delays of trains. Journal Article.
- Carey & Kwiecinski 1994. Swapping the order of scheduled services to minimize expected costs of delays. Journal Article.
- Chen & Harker 1990. Two moments estimation of the delay on single-track rail lines with scheduled traffic. Journal Article.
- Cicerone & D'Angelo & Di Stefano & Frigioni & Navarra 2008. Delay management problem: Complexity results and robust algorithms. Conference Proceedings.
- D'Ariano & Albrecht 2006. Running time re-optimization during real-time timetable perturbations. Conference Proceedings.
- D'Ariano & Pacciarelli & Pranzo 2008. Assessment of flexible timetables in real-time traffic management of a railway bottleneck. Journal Article.
- D'Ariano & Pranzo 2009. An advanced real-time train dispatching system for minimizing the propagation of delays in a dispatching area under severe disturbances. Journal Article.
- Demitz & Hübschen & Albrecht 2004. Timetable stability - Using simulation to ensure quality in a regular interval timetable. Conference Proceedings.
- Gouweloos & Bartholomeus 2007. An estimate of the punctuality benefits of automatic operational train sequencing. Conference Proceedings.
- Goverde 2005. Punctuality of railway operations and timetable stability analysis. Dissertation/Thesis.
- Goverde & Daamen & Hansen 2008. Automatic identification of route conflict occurrences and their consequences. Conference Proceedings.
- Hansen & Yuan 2006. Stochastic modeling of delay propagation at railway stations and junctions. Conference Proceedings.
- Higgins & Kozan & Ferreira 1995. Modelling delay risks associated with train schedules. Journal Article.
- Jovanovic 1989. Improving railroad on-time performance: Models, algorithms and applications. Dissertation/Thesis.
- Kaas 2000. Punctuality model for railways. Conference Proceedings.
- Kroon & Maróti & Helmrigh & Vromans & Dekker 2008. Stochastic improvement of cyclic railway timetables. Journal Article.
- Landex & Nielsen 2006. Simulation of disturbances and modelling of expected train passenger delays. Conference Proceedings.
- Mao & Yang & Wang 1998. Statistical and simulation-based models for progression prediction of train delays on busy railway lines. Conference Proceedings.
- Mühlhans 1990. Berechnung der Verspätungsentwicklung bei Zugfahrten [Calculating the late-running development in train operation]. Magazine Article.
- Nash & Weidmann & Bollinger & Luethi & Buchmueller 2006. Increasing schedule reliability on the S-Bahn in Zurich, Switzerland computer analysis and simulation. Journal Article.
- Olsson & Haugland 2004. Influencing factors on train punctuality - results from some Norwegian studies. Journal Article.
- Shoji & Igarashi 1997. New trends of train control and management systems with real-time and non real-time properties. Conference Proceedings.
- Tomii & Tashiro & Tanabe & Hirai & Muraki 2005. Train rescheduling algorithm which minimizes passengers' dissatisfaction. Journal Article.
- Vansteenwegen & Van Oudheusden 2007. Decreasing the passenger waiting time for an intercity rail network. Journal Article.
- Vromans 2005. Reliability of railway systems. Dissertation/Thesis.
- Vromans & Dekker & Kroon 2006. Reliability and heterogeneity of railway services. Journal Article.
- Weeda & Wiggendaad 2006. Joint design standard for running times, dwell times and headway times. Conference Proceedings.
- Weigand 1981. Verspätungsübertragungen in Fernverkehrsnetzen [Delay propagation in long distance traffic networks]. Magazine Article.
- Xu & Jiang & Shao & Zhu 2006. Simulation study on train delay and propagation characteristics of urban mass transit systems. Journal Article.
- Yuan 2004. An analytical model for estimating the propagation of train delays in complex station areas. Conference Proceedings.
- Yuan 2006. Stochastic modelling of train delays and delay propagation in stations. Dissertation/Thesis.
- Yuan & Goverde & Hansen 2002. Propagation of train delays in stations. Conference Proceedings.
- Yuan & Goverde & Hansen 2006. Evaluating stochastic train process time distribution models on the basis of empirical detection data. Conference Proceedings.
- Yuan & Hansen 2004. Analysis of scheduled and real capacity utilisation at a major Dutch Railway station. Conference Proceedings.
- Yuan & Hansen 2007. Optimizing capacity utilization of stations by estimating knock-on train delays. Journal Article.
- Yuan & Hansen 2008. Closed form expressions of optimal buffer times between scheduled trains at railway bottlenecks. Conference Proceedings.



## AIKATAULU- JA KAPASITEETTISUUNNITTELU -teeman julkaisuja (2)

Osuuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)

täsmällisyys-  
tutkimuksen  
näkökulmasta

Merkittävä osuma	Alston & Davies 1970. Cybernetic operation of railway traffic. Magazine Article.
	Anon. 2007. Algorithmic methods for railway optimization – International Dagstuhl workshop 2004. Conference Proceedings.
	Badcock 2006. More trains on TIME more often. Magazine Article.
	Bandara & Ekanayake 2003. Train scheduling simulation that minimises operational conflicts due to service constraints. Journal Article.
	Barter 2004. Forecasting robustness of timetables. Conference Proceedings.
	Carey & Carville 2003. Scheduling and platforming trains at busy complex stations. Journal Article.
	Carey & Kwiecinski 1995. Properties of expected costs and performance measures in stochastic models of scheduled transport. Journal Article.
	Casson 2004. The future of the UK railway system: Michael Brooke's vision. Journal Article.
	Chakroborty & Vikram 2008. Optimum assignment of trains to platforms under partial schedule compliance. Journal Article.
	Csikos & Currie 2008. Investigating consistency in transit passenger arrivals – Insights from longitudinal automated fare collection data. Journal Article.
	D'Ariano 2008. Improving real-time train dispatching: models, algorithms and applications. Dissertation/Thesis.
	D'Ariano & Pranzo & Hansen 2007. Conflict resolution and train speed coordination for solving real-time timetable perturbations. Journal Article.
	Delorme & Gandibleux & Rodriguez 2009. Stability evaluation of a railway timetable at station level. Journal Article.
	Engelhardt-Funke & Kolonko 2004. Analysing stability and investments in railway networks using advanced evolutionary algorithms. Journal Article.
	Fioole & Kroon & Maróti & Schrijver 2006. A rolling stock circulation model for combining and splitting of passenger trains. Journal Article.
	Flamini & Pacciarelli 2008. Real time management of a metro rail terminus. Journal Article.
	Fotea 1976. Determination of the number of reception sidings, having regard to the probability of delays to trains. Magazine Article.
	Gibson & Cooper & Ball 2002. Developments in transport policy: The evolution of capacity charges on the UK rail network. Journal Article.
	Ginkel & Schöbel 2007. To wait or not to wait? The bicriteria delay management problem in public transportation. Journal Article.
	Goverde 2007. Railway timetable stability analysis using max-plus system theory. Journal Article.
	Greenberg & Leachman & Wolff 1988. Predicting dispatching delays on a low speed, single track railroad. Journal Article.
	Hallowell & Harker 1998. Predicting on-time performance in scheduled railroad operations: methodology and application to train scheduling. Journal Article.
	Hansen 2000. Station capacity and stability of train operations. Conference Proceedings.
	Hansen 2006. State-of-the-art of railway operations research. Conference Proceedings.
	He & Song & Chaudhry 2003. An integrated dispatching model for rail yards operations. Journal Article.
	Heidergott & Vries 2001. Towards a (max,+) control theory for public transportation networks. Journal Article.
	Higgins & Kozan & Ferreira 1997. Modelling the number and location of sidings on a single line railway. Journal Article.
	Hirai & Tomii 1998. Evaluation of train interval adjustment algorithms for congested metropolitan railway lines. Journal Article.
	Hooghiemstra & Teunisse 1998. Use of simulation in the planning of the Dutch railway services. Conference Proceedings.
	Huisman & Boucherie 2001. Running times on railway sections with heterogeneous train traffic. Journal Article.
	Jacobs 2004. Reducing delays by means of computer-aided 'on-the-spot' rescheduling. Conference Proceedings.
	Krulle & Loh 2004. RIS-mobile – Informationsversorgung über mobile Endgeräte [RIS-mobile – Providing information via mobile terminals]. Magazine Article.
	Kumazawa & Hara & Koseki 2008. A novel train rescheduling algorithm for correcting disrupted train operations in a dense urban environment. Conference Proceedings.
	Lee 1998. Delay analysis for train operation. Conference Proceedings.
	Lindfeldt 2007. Quality on single-track railway lines with passenger traffic: Analytical model for evaluation of crossing stations and partial double-tracks. Dissertation/Thesis.
	Liu & He & Wang & An 2007. Stochastic chance constrained programming model and solution of marshalling station dispatching plan. Journal Article.
	Luethi & Medeossi & Nash 2009. Structure and simulation evaluation of an integrated real-time rescheduling system for railway networks. Journal Article.
	Mao & Jia & Chen & Liu 2007. A computer-aided multi-train simulator for rail traffic. Conference Proceedings.
	Nash & Ullius 2004. Optimizing railway timetables with OpenTimeTable. Conference Proceedings.
	Olsson 2006. Impact analysis of railway projects in a flexibility perspective. Journal Article.
	Petersen & Taylor 1987. Design of single-track rail line for high-speed trains. Journal Article.
	Ricci & Tieri 2008. A Petri nets based decision support tool for railway traffic conflicts forecasting and resolution. Conference Proceedings.
	Rodriguez 2008. An incremental decision algorithm for railway traffic optimisation in a complex station. Conference Proceedings.
	Shimizu & Tanabe & Honda & Yasura 2006. The new Shinkansen rescheduling system for drivers and crew. Conference Proceedings.
	Sinha & Rajput & Asthana 1990. EXDAFS – An expert system for dynamic allocation of facilities at stations. Conference Proceedings.
	Törnquist 2007. Railway traffic disturbance management – An experimental analysis of disturbance complexity, management objectives and limitations in planning horizon. Journal Article.
	Vansteenwegen & Oudheusden 2006. Developing railway timetables which guarantee a better service. Journal Article.
	Vromans & Dekker & Kroon 2004. Simulation and railway timetabling norms. Conference Proceedings.
	Wang 2004. Study on the application of rough set in railway dispatching system. Journal Article.
	Wendler & Nießen 2008. Stochastische Modelle in der Eisenbahnbetriebswissenschaft [Stochastic models in railway operations research]. Journal Article.
	Zhang & Xu & Zhao 2008. The application of dynamic planning algorithm in automatic adjustment of train operation stage schedule for railway junction. Conference Proceedings.



# **LIIKENTEENOHJAUS-teeman julkaisu**

Osuvuus Julkaisu (tekijät, julkaisuvuosi, otsikko, julkaisutyyppi)  
täsmällisyys-  
tutkimuksen  
näkökulmasta

Täysosuma	<p>Carey &amp; Kwiecinski 1994. Stochastic approximation to the effects of headways on knock-on delays of trains. Journal Article.</p> <p>D'Ariano &amp; Albrecht 2006. Running time re-optimization during real-time timetable perturbations. Conference Proceedings.</p> <p>D'Ariano &amp; Pacciarelli &amp; Pranzo 2008. Assessment of flexible timetables in real-time traffic management of a railway bottleneck. Journal Article.</p> <p>D'Ariano &amp; Pranzo 2009. An advanced real-time train dispatching system for minimizing the propagation of delays in a dispatching area under severe disturbances. Journal Article.</p> <p>Gatto &amp; Glaus &amp; Jacob &amp; Peeters &amp; Widmayer 2004. Railway delay management: Exploring its algorithmic complexity. Journal Article.</p> <p>Gouweloos &amp; Bartholomeus 2007. An estimate of the punctuality benefits of automatic operational train sequencing. Conference Proceedings.</p> <p>Hansen 2001. Improving railway punctuality by automatic piloting. Conference Proceedings.</p> <p>Hansen &amp; Yuan 2006. Stochastic modeling of delay propagation at railway stations and junctions. Conference Proceedings.</p> <p>Jovanovic 1989. Improving railroad on-time performance: Models, algorithms and applications. Dissertation/Thesis.</p> <p>Kaas 2000. Punctuality model for railways. Conference Proceedings.</p> <p>Kauppi &amp; Wikström &amp; Sandblad &amp; Andersson 2006. Future train traffic control: control by re-planning. Journal Article.</p> <p>Lindfeldt 2006. Influences of station length and inter-station distance on delays and delay propagation on single-track lines with regional rail traffic. Conference Proceedings.</p> <p>Schöbel 2007. Integer programming approaches for solving the delay management problem. Conference Proceedings.</p> <p>Shoji &amp; Igarashi 1997. New trends of train control and management systems with real-time and non real-time properties. Conference Proceedings.</p> <p>Tadi &amp; Palaniswamy 1984. Comparison of various freight train dispatching policies for Indian railways. Journal Article.</p> <p>Takagi &amp; Goodman &amp; Roberts 2004. Optimising departure times at a transport interchange to improve connections when services are disrupted. Conference Proceedings.</p> <p>Takagi &amp; Weston &amp; Goodman &amp; Bouch &amp; Armstrong &amp; Preston &amp; Sone 2006. Optimal train control at a junction in the main line rail network using a new object-oriented signalling system model. Conference Proceedings.</p> <p>Tomii &amp; Tashiro &amp; Tanabe &amp; Hirai &amp; Muraki 2005. Train rescheduling algorithm which minimizes passengers' dissatisfaction. Journal Article.</p> <p>Yuan 2006. Stochastic modelling of train delays and delay propagation in stations. Dissertation/Thesis.</p> <p>Yuan &amp; Goverde &amp; Hansen 2006. Evaluating stochastic train process time distribution models on the basis of empirical detection data. Conference Proceedings.</p>
Merkittävä osuma	<p>Albrecht &amp; Goverde &amp; Weeda &amp; Van Luipen 2006. Reconstruction of train trajectories from track occupation data to determine the effects of a Driver Information System. Conference Proceedings.</p> <p>Albrecht &amp; Van Luipen &amp; Hansen &amp; Weeda 2007. Bessere Echtzeitinformationen für Triebfahrzeugführer und Fahrdienstleiter [Improved real-time information for drivers and controllers]. Magazine Article.</p> <p>Alston &amp; Davies 1970. Cybernetic operation of railway traffic. Magazine Article.</p> <p>Anon. 2007. Algorithmic methods for railway optimization – International Dagstuhl workshop 2004. Conference Proceedings.</p> <p>Bandara &amp; Ekanayake 2003. Train scheduling simulation that minimises operational conflicts due to service constraints. Journal Article.</p> <p>Bimmermann 1987. Concept of a future traffic control and supervision system. Magazine Article.</p> <p>D'Ariano 2008. Improving real-time train dispatching: models, algorithms and applications. Dissertation/Thesis.</p> <p>D'Ariano &amp; Pranzo &amp; Hansen 2007. Conflict resolution and train speed coordination for solving real-time timetable perturbations. Journal Article.</p> <p>Ding &amp; Chien 2001. Improving transit service quality and headway regularity with real-time control. Journal Article.</p> <p>Fay 2000. A fuzzy knowledge-based system for railway traffic control. Journal Article.</p> <p>Flamini &amp; Pacciarelli 2008. Real time management of a metro rail terminus. Journal Article.</p> <p>Furth 1995. Headway control strategy for recovering from transit vehicle delays. Conference Proceedings.</p> <p>He &amp; Song &amp; Chaudhry 2003. An integrated dispatching model for rail yards operations. Journal Article.</p> <p>Heidergott &amp; Vries 2001. Towards a (max,+) control theory for public transportation networks. Journal Article.</p> <p>Hiraguri &amp; Hirao &amp; Watanabe &amp; Tomii &amp; Hase 2004. Advanced train and traffic control based on prediction of train movement. Journal Article.</p> <p>Ho &amp; Norton &amp; Goodman 1997. Optimal traffic control at railway junctions. Journal Article.</p> <p>Jacobs 2004. Reducing delays by means of computer-aided 'on-the-spot' rescheduling. Conference Proceedings.</p> <p>Kumazawa &amp; Hara &amp; Koseki 2008. A novel train rescheduling algorithm for correcting disrupted train operations in a dense urban environment. Conference Proceedings.</p> <p>Lee 1998. Delay analysis for train operation. Conference Proceedings.</p> <p>Lee &amp; Sheng &amp; Guo 1993. Fast and reliable algorithm for railway train routing. Conference Proceedings.</p> <p>Liu &amp; He &amp; Wang &amp; An 2007. Stochastic chance constrained programming model and solution of marshalling station dispatching plan. Journal Article.</p> <p>Luethi &amp; Medeossi &amp; Nash 2009. Structure and simulation evaluation of an integrated real-time rescheduling system for railway networks. Journal Article.</p> <p>McTavish &amp; Maidment 1989. Quality monitoring in British Rail. Magazine Article.</p> <p>Murata &amp; Goodman 1998. Optimally regulating disturbed metro traffic with passenger inconvenience in mind. Conference Proceedings.</p> <p>Ricci &amp; Tieri 2008. A Petri nets based decision support tool for railway traffic conflicts forecasting and resolution. Conference Proceedings.</p> <p>Sakowitz &amp; Wendler 2006. Optimising train priorities to support the regulation of train services with the assistance of active and deductive databases. Conference Proceedings.</p> <p>Schmocker &amp; Cooper &amp; Adeney 2005. Metro service delay recovery: Comparison of strategies and constraints across systems. Journal Article.</p> <p>Törnquist 2007. Railway traffic disturbance management – An experimental analysis of disturbance complexity, management objectives and limitations in planning horizon. Journal Article.</p> <p>Turnquist &amp; Daskin 1982. Queueing models of classification and connection delay in railyards. Journal Article.</p> <p>Ueda &amp; Goodman &amp; Sone 2004. Introduction of halt discomfort in the objective criteria of regulation for metro type railways. Conference Proceedings.</p> <p>van den Boom &amp; De Schutter 2004. Modeling and control of railway networks. Conference Proceedings.</p> <p>Wang 2004. Study on the application of rough set in railway dispatching system. Journal Article.</p> <p>Zhang &amp; Xu &amp; Zhao 2008. The application of dynamic planning algorithm in automatic adjustment of train operation stage schedule for railway junction. Conference Proceedings.</p>



REAALIAIKAiset Järjestelmät -teeman julkaisu

Osuuus Julkaisu (tekijät, julkaisu vuosi, otsikko, julkaisutyyppi)

täsmällisyys-  
tutkimuksen  
näkökulmasta

Täysosuma	D'Ariano & Albrecht 2006. Running time re-optimization during real-time timetable perturbations. Conference Proceedings. D'Ariano & Pacciarelli & Pranzo 2008. Assessment of flexible timetables in real-time traffic management of a railway bottleneck. Journal Article. D'Ariano & Pranzo 2009. An advanced real-time train dispatching system for minimizing the propagation of delays in a dispatching area under severe disturbances. Journal Article. Fukami & Yamamoto & Hatanaka & Terada 2006. A new delay forecasting system for the Passenger Information Control system (PIC) of the Tokaido-Sanyo Shinkansen. Conference Proceedings. Gatto & Jacob & Peeters & Widmayer 2007. Online delay management on a single train line. Conference Proceedings. Gouveloos & Bartholomeus 2007. An estimate of the punctuality benefits of automatic operational train sequencing. Conference Proceedings. Goverde & Daamen & Hansen 2008. Automatic identification of route conflict occurrences and their consequences. Conference Proceedings. Hansen 2001. Improving railway punctuality by automatic piloting. Conference Proceedings. Jovanovic 1989. Improving railroad on-time performance: Models, algorithms and applications. Dissertation/Thesis. Peters & Emig & Jung & Schmidt 2005. Prediction of delays in public transportation using neural networks. Conference Proceedings. Schöbel 2007. Integer programming approaches for solving the delay management problem. Conference Proceedings. Shoji & Igarashi 1997. New trends of train control and management systems with real-time and non real-time properties. Conference Proceedings. Takagi & Goodman & Roberts 2004. Optimising departure times at a transport interchange to improve connections when services are disrupted. Conference Proceedings. Tomii & Tashiro & Tanabe & Hirai & Muraki 2005. Train rescheduling algorithm which minimizes passengers' dissatisfaction. Journal Article.
Merkittävä osuma	Albrecht & Goverde & Weeda & Van Luipen 2006. Reconstruction of train trajectories from track occupation data to determine the effects of a Driver Information System. Conference Proceedings. Albrecht & Van Luipen & Hansen & Weeda 2007. Bessere Echtzeitinformationen für Triebfahrzeugführer und Fahrdienstleiter [Improved real-time information for drivers and controllers]. Magazine Article. Alston & Davies 1970. Cybernetic operation of railway traffic. Magazine Article. Anon. 2007. Algorithmic methods for railway optimization – International Dagstuhl workshop 2004. Conference Proceedings. D'Ariano 2008. Improving real-time train dispatching: models, algorithms and applications. Dissertation/Thesis. D'Ariano & Pranzo & Hansen 2007. Conflict resolution and train speed coordination for solving real-time timetable perturbations. Journal Article. De Fabris & Longo & Medeoosi 2008. Automated analysis of train event recorder data to improve micro-simulation models. Conference Proceedings. Ding & Chien 2001. Improving transit service quality and headway regularity with real-time control. Journal Article. Fay 2000. A fuzzy knowledge-based system for railway traffic control. Journal Article. Ferreira & Higgins 1998. Scheduling rail track maintenance. Conference Proceedings. Flamini & Pacciarelli 2008. Real time management of a metro rail terminus. Journal Article. Jacobs 2004. Reducing delays by means of computer-aided 'on-the-spot' rescheduling. Conference Proceedings. Luethi & Medeoosi & Nash 2009. Structure and simulation evaluation of an integrated real-time rescheduling system for railway networks. Journal Article. McTavish & Maidment 1989. Quality monitoring in British Rail. Magazine Article. Shimizu & Tanabe & Honda & Yasura 2006. The new Shinkansen rescheduling system for drivers and crew. Conference Proceedings. Törnquist 2007. Railway traffic disturbance management – An experimental analysis of disturbance complexity, management objectives and limitations in planning horizon. Journal Article. van den Boom & De Schutter 2004. Modeling and control of railway networks. Conference Proceedings. Wang 2004. Study on the application of rough set in railway dispatching system. Journal Article. Zhang & Xu & Zhao 2008. The application of dynamic planning algorithm in automatic adjustment of train operation stage schedule for railway junction. Conference Proceedings.

INFORMAATIOJärjestelmät -teeman julkaisu

Osuuus Julkaisu (tekijät, julkaisu vuosi, otsikko, julkaisutyyppi)

täsmällisyys-  
tutkimuksen  
näkökulmasta

Täysosuma	Fukami & Yamamoto & Hatanaka & Terada 2006. A new delay forecasting system for the Passenger Information Control system (PIC) of the Tokaido-Sanyo Shinkansen. Conference Proceedings. Goverde & Daamen & Hansen 2008. Automatic identification of route conflict occurrences and their consequences. Conference Proceedings.
Merkittävä osuma	D'Ariano & Pranzo & Hansen 2007. Conflict resolution and train speed coordination for solving real-time timetable perturbations. Journal Article. Kroes & Kouwenhoven & Duchateau & Debrincat & Goldberg 2007. Value of punctuality on suburban trains to and from Paris. Journal Article. Krulle & Loh 2004. RIS-mobile – Informationsversorgung über mobile Endgeräte [RIS-mobile – Providing information via mobile terminals]. Magazine Article. Törnquist & Gustafsson 2004. Perceived benefits of improved information exchange – a case study on rail and intermodal transports. Journal Article.



## RATAHALLINTOKESKUKSEN JULKAISUJA A-SARJASSA

- 1/2007 Akselipainon noston tekniset edellytykset ja niiden soveltuminen Luumäki–Imatra-rataosuudelle
- 2/2007 Radan kulumisen rajakustannukset 1997–2005
- 3/2007 Marginal Rail Infrastructure Costs in Finland 1997–2005
- 4/2007 Ratarakenteen kuormituksen määrittäminen stabiliteettitarkasteluihin
- 5/2007 Pohjois-Suomen rataverkon tavaraliikenteen kehittäminen
- 6/2007 Suomen rataverkon tärinäselvitys. Kirjallisuuskatsaus ja tärinäkohteet vuosina 2000–2006
- 7/2007 Luvattomien radanylytysten välttäminen
- 8/2007 Maatutkatekniikan hyödyntäminen radan tukikerroksen kunnon arvioinnissa
- 9/2007 Markkinoilletulo ja rautatiemarkkinoiden muutos kotimaisen tavaraliikenteen avautuessa kilpailulle Suomessa
- 10/2007 Rautatieliikenne 2030 -suunnitelman liikenne-ennusteet
- 11/2007 Logistiikkakeskusten tie- ja ratayhteydet
  - 1/2008 Aikataulusuunnittelu ja rautatieliikenteen täsmällisyys
  - 2/2008 Rautatieliikenteen simuloinnin merkitys ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamisessa
  - 3/2008 Rautateiden liikkuvan kaluston kunnon valvonta runkoverkolla
  - 4/2008 Raakapuukuljetusten tulevaisuuden haasteet
  - 5/2008 Perussolmuraapihojen merkitys ja näkymät osana kuljetusjärjestelmää
  - 6/2008 Tasoristeysten kansirakenteet
  - 7/2008 Ratojen alusrakenteissa käytettyjen materiaalien routimisherkyys
  - 8/2008 Kolarin seudun kaivos Hankkeet
  - 9/2008 Rataverkon pohjavesialueiden riskienhallinnan kehittäminen
  - 10/2008 Rautatieliikenteen pitkän aikavälin suunnitteluprosessin kehittäminen
  - 11/2008 Rautatieliikenteen häiriöiden analysoinnin kehittäminen
  - 12/2008 Junan pyörävikojen havainnointi raiteeseen asennetulla mittalaitteella
  - 13/2008 A Collaborative Process of Product Lifecycle Management for Railway Signalling Infrastructure
- 14/2008 Rataverkon jatkosähköistyksen hankearvioinnin päivitys
- 15/2008 Rautatieliikenteen täsmällisyyden mittaaminen
- 16/2008 Ilmastomuutokseen sopeutuminen radanpidossa. Esiselvitys
- 17/2008 Kehäradan kiintoraideselvitys
- 18/2008 Rautatiekuljetusten riskienhallinta. Esiselvitys
  - 1/2009 Rataverkon kunnon ja sen liikenteellisten vaikutusten visualisoinnin lähtökohdat
  - 2/2009 Sähkömagneettisten kenttien kartoitus Ratahallintokeskuksen hallinnoimalla rataverkolla
  - 3/2009 Ratahallintokeskuksen tutkimus- ja kehittämisstrategia
  - 4/2009 Raakapuun terminaali- ja kuormauspaikkaverkon kehittäminen
  - 5/2009 Nopean junaliikenteen kehittämisen vaikutukset. Kirjallisuustutkimus
  - 6/2009 Junaliikenteen informaatiokeskuksen toimintatapa. INTO-hanke
  - 7/2009 Esiselvitys akseli- ja metrikuormien korotuksen yleisestä teknis-taloudellisuudesta ja case-tarkastelu Kemi–Kolari-rataosalla
  - 8/2009 Etelä-Suomen kauko-ohjausjärjestelmän (ESKO) käyttöönotto ja muutokset liikenteenohjaustyössä
  - 9/2009 Olemassa olevien ratapenkereiden stabiliteetin laskenta elementtimenetelmällä
  - 10/2009 Matalat melusteet raidemelun torjunnassa
  - 11/2009 Market Entry Strategies and Confronted Barriers on Liberalized Railway Freight Markets in Sweden and Poland
  - 12/2009 Kerava–Lahti-oikoradan vaikutukset Mäntsälän Vähäjärvenkallioiden metsä-alueen pesimälinnustoon. Yhteenveto vuosien 2002–2008 seurannan tuloksista
  - 13/2009 Liikenteen ulkoisvaikutukset Suomessa ja EU:ssa. Katsaus ulkoisvaikutusten arvottamiseen ja ulkoisvaikutusten soveltamiseen hankearvioinneissa
  - 14/2009 Väylänpidon pitkän aikavälin suunnittelun pohjoismainen vertailu
  - 15/2009 Junan kontaktihiilien kunnon valvonta virroittimen valokuvaukseen perustuvalla laitteistolla
  - 16/2009 Etelä-Suomen rataverkon tavaraliikenteen kehittäminen



**RATAHALLINTOKESKUS  
BANFÖRVALTNINGSCENTRALEN**

Julkaisija:  
Ratahallintokeskus  
Kaivokatu 8, PL 185, 00101 Helsinki  
puh. 020 751 5111, fax 020 751 5100  
[www.rhk.fi](http://www.rhk.fi)

ISSN 1455-2604  
ISBN 978-952-445-313-4